



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF141501**

**INVERSI *EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE (EEI)*  
UNTUK ANALISIS PERSEBARAN RESERVOAR  
BATUPASIR LAPANGAN “TORO”, CEKUNGAN  
BARITO**

**TIARA NOOR UTAMI  
NRP 3714100028**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 1969 0906 1997 02 1001  
Anik Hilyah, S.Si., M.T.  
NIP 1979 0813 2008 12 2002**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018**





**ITS**

Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**INVERSI *EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE (EEI)*  
UNTUK ANALISIS PERSEBARAN RESERVOAR  
BATUPASIR LAPANGAN “TORO”, CEKUNGAN BARITO**

TIARA NOOR UTAMI

NRP 3714100028

Dosen Pembimbing

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.

NIP. 1969 0906 1997 02 1001

Anik Hilyah, S.Si., M.T.

NIP 1979 0813 2008 12 2002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



FINAL PROJECT- RF141501

**EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE (EEI) INVERSION  
FOR SANDSTONE RESERVOIR DISTRIBUTION  
ANAYLYSIS AT “TORO” FIELD, BARITO BASIN**

**TIARA NOOR UTAMI**

**NRP 3714100028**

**Advisor :**

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.**

**NIP. 1969 0906 1997 02 1001**

**Anik Hilyah, S.Si., M.T.**

**NIP 1979 0813 2008 12 2002**

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT**

**Faculty Of Civil, Environtment And Geo Engineering**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2018**

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

**INVERSI EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE (EEI) UNTUK ANALISIS  
PERSEBARAN RESERVOIR BATUPASIR LAPANGAN "TORO"  
CEKUNGAN BARITO**

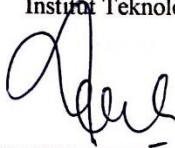
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 22 Juni 2018

Menyetujui,



1. **Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.** (Pembimbing I)  
NIP. 19690906 199702 1 001
2. **Anik Hilviah, S.Si., M.T.** (Pembimbing II)  
NIP. 19790813 200812 2 002
3. **Dr. Widya Utama, DEA** (Penguji I)  
NIP. 19611024 198803 1 001
4. **Dr. Dwa Desa Warnana** (Penguji II)  
NIP. 19760123 200003 1 001

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



**Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.**  
NIP. 19690906 199702 1 001

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan penulisan Tugas Akhir saya yang berjudul “Inversi *Extended Elastic Impedance* (EEI) untuk Analisis Persebaran Reservoir Batupasir Lapangan “TORO”, Cekungan Barito” adalah benar hasil karya pengerjaan intelektual secara mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 22 Juni 2018



Tiara Noor Utami

NRP. 03411440000028

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **INVERSI *EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE* (EEI) UNTUK ANALISIS PERSEBARAN RESERVOAR BATUPASIR LAPANGAN “TORO”, CEKUNGAN BARITO**

Nama : Tiara Noor Utami  
NRP : 3714100028  
Departemen : Teknik Geofisika ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
Anik Hilyah, S.Si., M.T.

## **ABSTRAK**

Lapangan “TORO” merupakan lapangan dalam fase pengembangan yang berada di Cekungan Barito. Litologi zona reservoir lapangan “TORO” terdiri atas batupasir (penyusun utama) yang diselingi oleh batuserpih dan terbagi atas dua lapisan, C dan E. Hasil analisis sensitivitas impedansi akustik pada lapisan C dan E menunjukkan impedansi akustik pada reservoir tidak sensitif atau sulit untuk membedakan batupasir dari litologi batuserpih. Hal ini dapat menimbulkan ambiguitas pada analisis hasil inversi seismik, berbasis impedansi akustik sebagai parameter inversi seismik, sehingga diperlukan parameter yang sensitif atau mampu membedakan litologi batupasir dan batuserpih pada reservoir lapangan “TORO” agar proses inversi seismik dapat dilakukan. Setelah dilakukan analisis sensitivitas,  $\Lambda/\mu$  ( $\lambda/\mu$ ) merupakan parameter impedansi elastik yang sensitif untuk mengidentifikasi dan membedakan batupasir dari litologi batuserpih karena mampu menggambarkan properti elastik masing-masing batuan (Goodway 2001). Dalam tugas akhir ini, parameter  $\Lambda/\mu$  dilakukan pendekatan dengan metode *Extended Elastic Impedance* (EEI) agar dapat diinversi. Pendekatan dilakukan dengan cara *cross correlation*  $\Lambda/\mu$  terhadap EEI, hasilnya berupa EEI 50° mampu menggambarkan respon  $\Lambda/\mu$  secara baik dengan nilai korelasi 0,9739. EEI 50° mampu membedakan litologi batupasir dan batuserpih dengan impedansi elastik batupasir lapisan C berada pada rentang 5.500-7.250 (g/cc)(m/s) dan batuserpih pada rentang 7.200-9.000 (g/cc)(m/s) sedangkan pada lapisan E batupasir pada rentang 5.500-7.100 (g/cc)(m/s) dan batuserpih pada rentang 7.000-9.200 (g/cc)(m/s). Pola persebaran yang dihasilkan oleh inversi EEI menunjukkan lapisan C adalah *fluvial meandering* dan lapisan E adalah estuari, keduanya diendapkan dari Selatan ke Utara.

Kata Kunci : Inversi *Extended Elastic Impedance*, Impedansi Elastik, Reservoir Batupasir.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

# **EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE (EEI) INVERSION FOR SANDSTONE RESERVOIR DISTRIBUTION ANAYLYSIS AT “TORO” FIELD, BARITO BASIN**

Name : Tiara Noor Utami  
ID Number : 3714100028  
Departement : Teknik Geofisika ITS  
Advisor : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT  
Anik Hilyah, S.Si., MT.

## **ABSTRACT**

“TORO” field is a developing field that is located in Barito Basin. The reservoir formation of “TORO” field is consisted of sandstone as the main component with shalestone in between and divided into two layers, C and E. The acoustic impedance sensitivity analysis resulted from layer C and E is the acoustic impedance in the reservoir zone is not sensitive or incapable in distinguishing sandstone and shalestone. The incapable of distinguishing will be ambiguous in the acoustic impedance-inversion resulted. Thus, a sensitive parameter is needed for distinguishing sandstone and shalestone in “TORO” field for further seismic inversion. After a further sensitivity analysis, Lambda/Mu ( $\lambda/\mu$ ) is a sensitive elastic impedance parameter, due its’ ability in imaging the elastic properties of both rocks (Goodway, 2001). In this final project, Lambda/Mu was transformed into Extended Elastic Impedance (EEI) in order to be inverted. The transformation was conducted by cross correlating Lambda/Mu with EEI. As a result, EEI is capable in creating the same respon with Lambda/Mu excellently, shown by the high correlation value, 0.9739. The EEI log resulted shows that the method is capable of distinguishing both sandstone and shalestone with the elastic impedance value for sandstone in layer C is 5.500-7.250 (g/cc)(m/s) and for shalestone is 7.200-9.000 (g/cc)(m/s). Meanwhile, for layer E the elastic impedance value for sandstone is 5.500-7.100 (g/cc)(m/s) and shalestone is 7.000-9.200 (g/cc)(m/s). The distribution pattern resulted from EEI inversion is fluvial meandering for layer C and estuarine for layer E, both layers are deposited from South to North.

**Keyword:** Elastic Impedance, Extended Elastic Impedance Inversion, Sandstone Reservoir.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan InayahNya, saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Inversi *Extended Elastic Impedance* (EEI) untuk Analisis Persebaran *Reservoir* Batupasir Formasi Tanjung Lapangan “TORO”, Cekungan Barito”. Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan tugas akhir pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan.

Harapan saya semoga laporan ini dapat membantu dan menambah wawasan pembaca dan pribadi. Di samping itu, saya sampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada :

1. Bapak Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, M.T. selaku Dosen Pembimbing I kegiatan Tugas Akhir, Teknik Geofisika FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas bimbingan dan perhatian yang telah diberikan.
2. Ibu Anik Hilyah, S.Si, M.T. selaku Dosen Pembimbing II kegiatan Tugas Akhir, Teknik Geofisika FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas bimbingan dan masukan-masukan yang membangun
3. Bapak M. Rizky Harun, S.T. selaku Pembimbing di PT. Pertamina EP Asset 5 Balikpapan atas bimbingan, waktu, masukan, dan teguran yang telah diberikan..
4. Dr. Widya Utama, DEA. Selaku Ketua Departemen Teknik Geofisika FTSLK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas bimbingannya dalam penulisan laporan tugas akhir saya menjadi lebih baik.
5. Kedua orang tua dan adik saya, atas doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang selalu tercurah selama ini.
6. Dimas Kusuma Andanu, Ahmad Syauqi, Putry Elzha dan teman-teman TG03 untuk waktu, bantuan, hiburan yang telah diberikan selama penelitian tugas akhir ini.
7. Teman-Teman Aquarium PT. Pertamina EP Pusat Jakarta, terutama Bidara Kaliandra dan Aldo Rizkiawan atas kebersamaan, kebahagiaan, dan support yang selalu diberikan saat dan setelah penelitian dilakukan.

Surabaya, 22 Juni 2018

**Tiara Noor Utami**

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Geologi Regional .....	3
2.1.1. Fisiografi Cekungan Barito .....	3
2.1.2. Tektonik dan Stratigrafi Cekungan Barito .....	4
2.1.3. Lingkungan Pengendapan <i>Lower</i> Tanjung .....	6
2.1.4. <i>Petroleum System</i> Cekungan Barito .....	6
2.2. Seismik Refleksi .....	7
2.3. Komponen Dasar Seismik Refleksi .....	8
2.3.1. Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi .....	8
2.3.2. Model Konvolusi .....	9
2.3.3. Polaritas dan Fasa <i>Wavelet</i> .....	10
2.4. Checkshot .....	11
2.5. Inversi Seismik .....	12
2.5.1. Metode Inversi Berdasarkan Model ( <i>Model Based</i> ) .....	13
2.6. <i>Extended Elastik Impedance</i> atau Impedansi Elastik dengan Rentang Sudut yang Diperluas .....	14
2.6.1. Impedansi Elastik .....	14
2.6.2. Koefisien Refleksi pada Sudut Datang Tidak Normal .....	15
2.6.3. Rentang Sudut yang Diperluas .....	16
2.7. Parameter <i>Lame</i> .....	17
2.8. Artificial Neural Network .....	18
<b>BAB III. METODOLOGI</b>	
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	21
3.2. Diagram Alir Penelitian .....	21
3.3. Perangkat .....	22
3.4. Data Penelitian .....	22

3.4.1. Data Seismik .....	22
3.4.2. Data Sumur .....	26
3.5. Pengolahan Data .....	30
3.5.1. Prediksi Gelombang S .....	30
3.5.2. Transformasi Log .....	30
3.5.3 Analisis Sensitivitas .....	31
3.5.4. Pencarian Sudut Optimum dan Log EEI 50° .....	33
3.5.5. <i>Well-to-Seismic Tie</i> .....	34
3.5.6. Interpretasi Seismik .....	37
3.5.7. Reflektivitas EEI 50° .....	40
3.5.8. Wavelet Reflektivitas EEI 50° .....	45
3.5.9. Model Awal EEI 50° .....	45
3.5.10. Analisis Inversi .....	46
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Analisis Prediksi Gelombang S .....	47
4.2. Hasil Analisis Sensitivitas Reservoir Batupasir Lapangan “TORO” .....	52
4.3. Hasil Log EEI 50° .....	54
4.4. Hasil Analisis Sensitivitas Log EEI 50° .....	57
4.5. Hasil Analisis Pre-Inversi EEI dan Model Akhir .....	58
4.6. Hasil Analisis Persebaran Batupasir dan Lingkungan Pengendapannya .....	66
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 .Kesimpulan .....	69
5.2. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	71
<b>PROFIL PENULIS</b> .....	73

## DAFTAR GAMBAR

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Gambar 2.1.	Cekungan Barito (Witts dkk., 2012).....	3
Gambar 2.2.	Stratigrafi Cekungan Barito (Satyana & Silitonga, 1994) .....	4
Gambar 2.3.	Pergerakan Gelombang P dan S (Hampson-Russel, 2006) .....	7
Gambar 2.4.	Akuisisi Seismik (Hampson-Russel, 2006) .....	8
Gambar 2.5.	Model Kovolusi (Schroeder, 2006) .....	10
Gambar 2.6.	Polaritas <i>wavelet</i> (a) Fasa Nol, (b) Fasa Minimum (Abdullah, 2007) .....	11
Gambar 2.7.	Checkshot survey (Abdullah, 2007) .....	12
Gambar 2.8.	Jenis Inversi Seismik (Sukmono, 2000) .....	13
Gambar 2.9.	Perbandingan Log Impedansi Akustik dan Impedansi Elastik (Connolly, 1999) .....	15
Gambar 2.10a.	Batuan dalam keadaan normal. 2.10b Batuan bila dilalui gelombang P. 2.10c Batuan bila dilalui gelombang S (Goodway, 2001) .....	17
Gambar 2.11.	Ilustrasi Perhitungan Matematika dari Artificial Neural Network (modifikasi dari De Oliveira, dkk., 2017).....	18

### BAB III. METODOLOGI

Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	21
Gambar 3.2.	Basemap Daerah Penelitian.....	23
Gambar 3.3.	Seismik PSTM 3D <i>Preserved</i> pada <i>inline</i> 2161 .....	24
Gambar 3.4.	Seismik PSTM 3D <i>Preserved</i> pada <i>crossline</i> 10646.....	25
Gambar 3.5.	Data log pada sumur TORO-01 .....	27
Gambar 3.6.	Data log pada sumur TORO-02.....	28
Gambar 3.7.	Data log pada sumur TORO-03.....	29
Gambar 3.8.	<i>Crossplot</i> impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) .....	31
Gambar 3.9.	<i>Crossplot</i> impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) .....	32
Gambar 3.10.	<i>Cross Correlation</i> sumur TORO-01, dengan nilai korelasi 0.975604 di sudut 49° .....	33
Gambar 3.11.	Hasil <i>amplitude spectrum</i> data seismik yang digunakan ..	34
Gambar 3.12.	Wavelet <i>ricker 33Hz</i> yang digunakan .....	35
Gambar 3.13.	Hasil WST sumur TORO-01 dengan korelasi 0.704.....	36
Gambar 3.14.	Hasil WST sumur TORO-02 dengan nilai korelasi 0.675 ..	36
Gambar 3.15.	Hasil WST sumur TORO-03 dengan nilai korelasi 0.861 ..	37

Gambar 3.16. Interpretasi seismik pada <i>crossline</i> 10646 .....	38
Gambar 3.17. <i>Time-Structure Map</i> lapisan C .....	39
Gambar 3.18. <i>Time-Structure Map</i> lapisan E .....	39
Gambar 3.19. Parameter input pembuatan penampang seismik reflektivitas EEI 50° .....	40
Gambar 3.20. Penampang <i>Intercept</i> .....	41
Gambar 3.21. Penampang <i>Gradient</i> .....	42
Gambar 3.22. Penampang seismik reflektivitas EEI 50° ( <i>No smoothed</i> )..	43
Gambar 3.23. Penampang seismik reflektivitas EEI 50° ( <i>Smoothed</i> ).....	44
Gambar 3.24. Ekstraksi <i>wavelet</i> dari penampang yang tidak <i>dismothing</i> .....	45
Gambar 3.25. Ekstraksi <i>wavelet</i> dari penampang yang sudah <i>dismothing</i> .....	45
Gambar 3.26. Model awal lapisan C.....	46
Gambar 3.27. Model awal lapisan E.....	46

#### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 4.1. <i>Crossplot</i> gelombang S prediksi (sumbu x) dengan gelombang S asli (sumbu y) pada sumur MARS-01 .....	50
Gambar 4.2. <i>Crossplot</i> gelombang S prediksi (sumbu x) dengan gelombang S asli (sumbu y) pada sumur MARS-02.....	50
Gambar 4.3. Log gelombang S asli (merah) dengan log gelombang S prediksi (hitam) pada sumur MARS-02 .....	51
Gambar 4.4. Gelombang S prediksi dan gelombang P pada sumur TORO-01 .....	51
Gambar 4.5. <i>Crossplot</i> impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x ) pada zona reservoar lapangan “TORO” .....	52
Gambar 4.6. <i>Crossplot</i> Lambda/Mu (sumbu y) dengan densitas (sumbux) pada lapisan C.....	53
Gambar 4.7. <i>Crossplot</i> Lambda/Mu (sumbu y) dengan densitas (sumbux) pada lapisan E.....	54
Gambar 4.8. <i>Cross Correlation</i> sumur TORO-01, dengan nilai korelasi 0.975604 di 49° .....	55
Gambar 4.9. <i>Cross Correlation</i> sumur TORO-02, dengan nilai korelasi 0.980679 di 51° .....	55
Gambar 4.10. <i>Cross Correlation</i> sumur TORO-03, dengan nilai korelasi 0.965436 di 49° .....	56
Gambar 4.11. Log EEI 50° (biru) dan Log Lambda/Mu (merah) pada sumur TORO-01 .....	56
Gambar 4.12. <i>Crossplot</i> Log EEI50 (sumbu y) dengan densitas (sumbux) pada lapisan C .....	57

Gambar 4.13. <i>Crossplot</i> Log EEI50 (sumbu y) dengan densitas (sumbux) pada lapisan C .....	58
Gambar 4.14. Inversion analysis window lapisan C Sumur TORO-01 .....	59
Gambar 4.15. Inversion analysis window lapisan C Sumur TORO-02 .....	59
Gambar 4.16. Inversion analysis window lapisan C Sumur TORO-03 .....	60
Gambar 4.17. Inversion analysis window lapisan E Sumur TORO-02 .....	60
Gambar 4.18. Inversion analysis window lapisan E Sumur TORO-03 .....	60
Gambar 4.19. Model akhir EEI 50° Lapisan C .....	61
Gambar 4.20. Model akhir EEI 50° Lapisan E .....	62
Gambar 4.21. Peta irisan model akhir EEI 50° Lapisan C .....	64
Gambar 4.22. Hasil interpretasi lingkungan pengendapan lapisan C .....	65
Gambar 4.23. Peta irisan model akhir EEI 50° Lapisan E .....	67
Gambar 4.24. Hasil interpretasi lingkungan pengendapan lapisan C .....	68

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Keterangan Seismik PTSM 3D <i>Preserved</i> dan CDP <i>Gather</i> ...	22
Tabel 3.2. Kelengkapan Data Log .....	26
Tabel 3.3 Data <i>marker top</i> lapisan penelitian .....	26
Tabel 3.4. Nilai Korelasi WST .....	35
Tabel 3.5. Nilai Korelasi Inversi Pada Lapisan C dan E.....	47
Tabel 4.1. Parameter Inversi dan Hasil Nilai Korelasi yang Didapat .....	59



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Menurut Sukmono (2000), Inversi seismik merupakan salah satu metode interpretasi seismik refleksi. Inversi seismik digunakan untuk membuat model struktur geologi bawah permukaan bumi. Data sumur juga digunakan dalam inversi sebagai data ikat atau data kontrol. Model struktur geologi bawah permukaan yang dihasilkan oleh inversi dapat mendekati keadaan sebenarnya dengan tingkat kesalahan yang kecil.

Lapangan “TORO” merupakan lapangan dalam fase pengembangan yang berada di Cekungan Barito. Formasi zona reservoir lapangan “TORO” terdiri atas batupasir (penyusun utama) yang diselingi oleh batuserpih dan terbagi atas dua lapisan, C dan E. Dibutuhkan analisis persebaran reservoir batupasir pada lapangan “TORO” untuk pengembangan lokasi pengeboran. Persebaran reservoir didapatkan dengan melakukan inversi. Dilakukan uji sensitivitas pada impedansi akustik reservoir lapangan “TORO” dengan hasil impedansi akustik nya tidak sensitif atau sulit membedakan batupasir dengan batuserpih, Impedansi akustik batupasir berada pada rentang 5700-11200 (m/s)\*(g/cc) dan batuserpih pada rentang 5000-11000 (m/s)\*(g/cc). Keadaan tersebut dapat menimbulkan ambiguitas pada analisis hasil inversi seismik, berbasis impedansi akustik sebagai parameter inversi seismik, sehingga diperlukan parameter lain untuk dapat dilakukan inversi. Setelah dilakukan analisis sensitivitas, maka diketahui bahwa  $\Lambda/\mu$  ( $\lambda/\mu$ ) merupakan parameter impedansi elastik yang sensitif karena mampu menggambarkan properti elastik masing-masing batuan. Dalam tugas akhir ini, parameter  $\Lambda/\mu$  dijadikan parameter utama dalam proses inversi seismik.

$\Lambda/\mu$  kemudian dilakukan pendekatan dengan metode *Extended Elastic Impedance (EEI)* dan dijadikan parameter utama dalam proses inversi seismik. Menurut Whitcombe dkk (2011), inversi EEI merupakan metode yang paling optimal untuk penggambaran keadaan fluida dan litologi dari batuan. Hasil analisis terintegrasi dari reflektivitas, log, dan inversi EEI akan memberikan gambaran yang jelas mengenai litologi yang ada dan hasilnya dapat digunakan untuk analisis persebaran reservoir batupasir di lapangan “TORO”.



## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mendapatkan parameter fisis batuan yang sensitif pada reservoir batupasir lapangan TORO untuk pembuatan log EEI dan inversi EEI?
2. Bagaimana analisis sebaran reservoir batupasir lapangan TORO dari hasil inversi EEI?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Data seismik *Post-Stack Time Migration Preserved* 3 Dimensi dan *Common Deep Point Gather*.
2. Data sumur TORO-01, TORO-02, TORO-03 (Log GR, Log RHOB, Log DT, Log S-Wave, *Checkshot*, dan *Marker* Litologi).
3. Data sumur MARS-01 dan MARS-02 (Log GR, Log RHOB, Log DT, dan Log S-Wave).
4. Gelombang S sumur TORO merupakan hasil prediksi menggunakan *Artificial Neural Network*.
5. *Software* Geolog 7 dan Hampson Russell 10.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan parameter fisis batuan yang sensitif pada reservoir batupasir lapangan TORO untuk pembuatan log EEI dan inversi EEI.
2. Mendapatkan sebaran reservoir batupasir lapangan TORO dari hasil inversi EEI.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini adalah:

1. Penggunaan metode inversi *Extended Elastic Impedance* yang mampu menggambarkan parameter elastis batuan.
2. Identifikasi awal lokasi potensi pengeboran selanjutnya (*step out*).

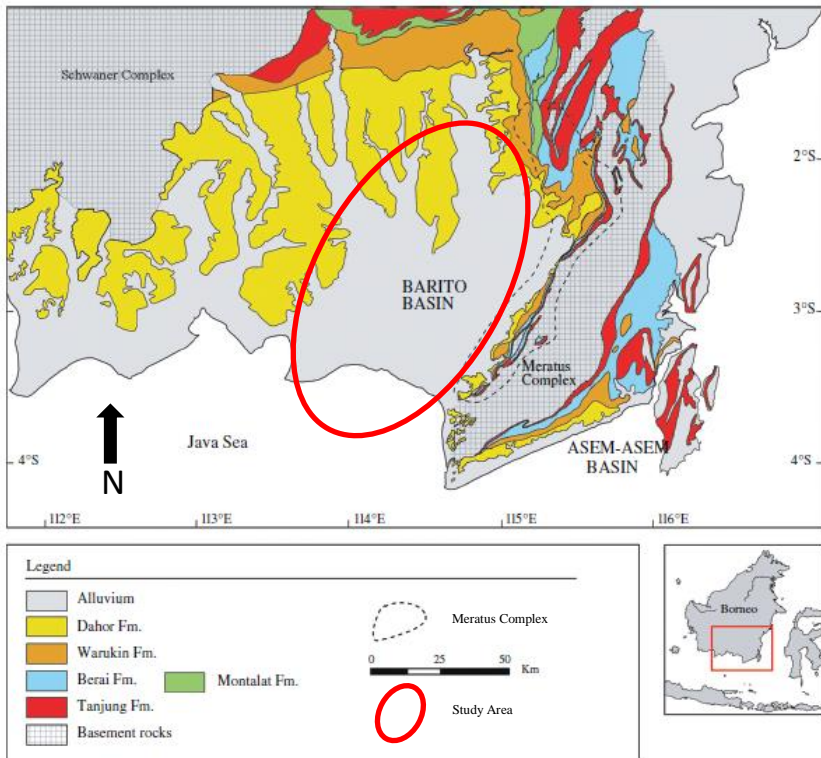
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Geologi Regional Cekungan Barito

##### 2.1.1 Fisiografi Cekungan Barito

Lapangan “TORO” terletak di Cekungan Barito. Cekungan Barito merupakan salah satu cekungan terbesar di daerah selatan Kalimantan. Cekungan ini memiliki luas wilayah sebesar 40.660 km<sup>2</sup> yang mencakup daratan seluas 35.728 km<sup>2</sup> dan laut seluas 4.932 km<sup>2</sup>. Cekungan Barito tersebar dari Kalimantan Timur hingga ke Kalimantan Selatan di sekitar sungai Barito.



Gambar 2.1 Cekungan Barito (Witts dkk, 2012).

Menurut gambar 2.1, Cekungan Barito dibatasi oleh Paparan Sunda dan Pegunungan Meratus di bagian barat serta sabuk *mélange* dan ofiolit di bagian timur. Proses sedimentasi yang terjadi pada formasi batuan cekungan ini



Sikuen *pre-rift* di bagian timur Cekungan Barito ditunjukkan dengan keberadaan komplek batuan dasar yang mengalasi cekungan sedimen. Posisi cekungan yang terletak pada tepi kontinen *Sundaland*, mengindikasikan komposisi batuan dasar tersusun oleh tipe batuan dasar kontinen (*acidiccrystalline*) dan zona akresi Mesozoik di bagian barat dan batuan Paleogen Awal di bagian timur. Pemboran eksplorasi pada Struktur Kambitin belum ada yang mencapai komplek batuan dasar.

## 2. Sikuen *Syn-rift*

Aktivitas tumbukan antara kontinen India, tepi Eurasia dengan bagian barat Samudera Pasifik pada awal Eosen Tengah (50 Jtl) menghasilkan pembentukan Cekungan Barito sebagai cekungan regangan berupa *convergent wrenching* atau *back-arc extension*. Sikuen *syn-rift* tersusun oleh pengendapan sedimen Formasi Lower Tanjung berumur Paleosen – Eosen Tengah dengan litologi penyusun berupa batupasir, batulanau, serpih, konglomerat, dan lapisan tipis batubara. Penyebaran fasies *syn-rift* terbatas mengisi paleo-terban. Bagian bawah sikuen tersusun oleh fasies *piedmont fan* berupa konglomerat *red beds*, yang ke atas berkembang menjadi fasies *alluvial – lacustrine*.

## 3. Sikuen Post-Rift

Penurunan dasar cekungan yang berlangsung dari Eosen Tengah – pertengahan Miosen Awal menghasilkan pengendapan sedimen bagian atas Formasi Lower Tanjung dan Formasi Berai. Suksesi stratigrafi sikuen *post-rift* diawali oleh pengendapan sedimen Formasi Lower Tanjung (bagian atas) berumur Eosen Tengah – Oligosen Awal, dengan litologi penyusun batupasir deltaik, batulanau, batubara, dan serpih neritic.

## 4. Sikuen *Syn-Inversion*

Kala Miosen Tengah, terjadi 2 (dua) aktivitas tumbukan tektonik, yaitu tumbukan fragmen kontinen Laut Cina Selatan dengan bagian utara Kalimantan yang menghasilkan pengangkatan Tinggian Kuching, dan tumbukan ke arah timur Sulawesi yang menyebabkan berhentinya pemekaran Selat Makassar dan pengangkatan proto-Meratus. Aktivitas tektonik tumbukan pada Miosen Tengah tersebut, menghasilkan pembalikan struktur di Cekungan Barito. Sikuen *syn-inversion* di Cekungan Barito tersusun oleh pengendapan Formasi Warukin dan Formasi Dahor. Pengendapan sedimen Formasi Warukin mempunyai ketebalan mencapai ribuan meter pada bagian tengah cekungan, sebagai konsekuensi dari pengangkatan kontinen di bagian barat dan pengangkatan proto-Meratus di sebelah timur. Suksesi stratigrafi Formasi Warukin tersusun oleh fasies *shallow & marginal* marine berupa batupasir, serpih, batulanau, dan batubara (Satyana & Silitonga, 1994).

### 2.1.3 Lingkungan Pengendapan Lower Tanjung

Daerah penelitian diendapkan pada formasi *Lower* Tanjung yang diendapkan pada *upper* Paleocene hingga awal *middle* Eocene dengan beberapa tahap perubahan daerah pengendapan.

#### 1. *Alluvial brain-plain*

Tahap awal dari terbentuknya Cekungan Barito adalah adanya proses erosi dan deposisional. Erosi tersebut yang membuat adanya jalur-jalur *alluvial*.

#### 2. *Fluvio-tidal coastal floodplain*

Terjadi banjir pada jalur-jalur *alluvial*. Jalur *alluvial* yang terisi air perlahan berubah menjadi sungai-sungai atau fluvial. Sungai yang terbentuk adalah *fluvial meandering*.

#### 3. *Estuarine*

Setelah terbentuk sungai yang *meandering*, terjadi kenaikan air laut. Sehingga terjadi kemunduran mulut laut. Hal ini merubah yang semula fluvial menjadi daerah estuari yang didominasi oleh transgresi dan regresi air laut (Witts dkk, 2012).

### 2.1.4 *Petroleum System* Cekungan Barito

Suksesi stratigrafi Formasi Tanjung yang mengisi Cekungan Barito telah terbukti menghasilkan akumulasi hidrokarbon. Sistem hidrokarbon di Cekungan Barito terbentuk oleh integrasi elemen – elemen pendukungnya, seperti jenis kerogen, kualitas batuan reservoir, dan keefektifan batuan penutupung.

Batuan Induk Formasi Tanjung dihasilkan dari pengendapan batuan serpih kaya organik, batulempung, dan batubara pada kondisi lingkungan shallow *lacustrine*. Tipe kerogen batuan induk Formasi Tanjung didominasi oleh *vitrinite* (tipe III, 40 – 60%), *amorphinite* dan *exinite* (tipe I dan II, 10 – 30%), dan *inertinite* (tipe IV, 10 – 30%). Sedangkan, *Hidrogen Index* (HI) umumnya bervariasi dari 40 – 130 mg/g TOC, meskipun beberapa mencapai 306 mg/g *Total Organic Carbon*. Berdasarkan hal tersebut, batuan induk Formasi Tanjung berpotensi menghasilkan tipe hidrokarbon minyak dan gas.

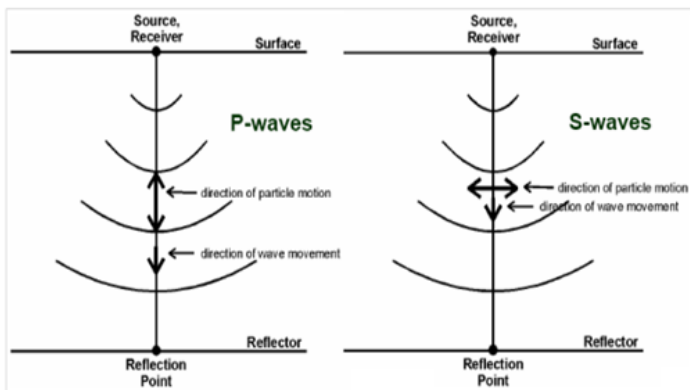
Suksesi pengisian sedimen pada Cekungan Barito (Gambar 2.2) menghasilkan pengendapan batupasir Formasi Tanjung yang berpotensi sebagai batuan reservoir. Pengendapan fasies batupasir pada fase *syn-rift* umumnya terbatas mengisi terban dan dikenal dengan tahap pengendapan 1, sedangkan tahap pengendapan 2 – 4 berlangsung selama fase *post-rift* dengan penyebaran relatif melampar luas.

Fase *post-rift* selama transgresi regional / penurunan cekungan setelah pengendapan sedimen *sag-fill* menghasilkan pengendapan sedimen *shallow marine mudstone* di Cekungan Barito. Pelamparan litologi *shallow marine mudstone* yang sangat luas dengan ketebalan mencapai 800m dan permeabilitas yang sangat ketat akan membentuk tipe batuan penutupung yang efektif menutupi reservoir – reservoir dibawahnya (Satyana dan Silitonga, 1994).

## 2.2 Seismik Refleksi

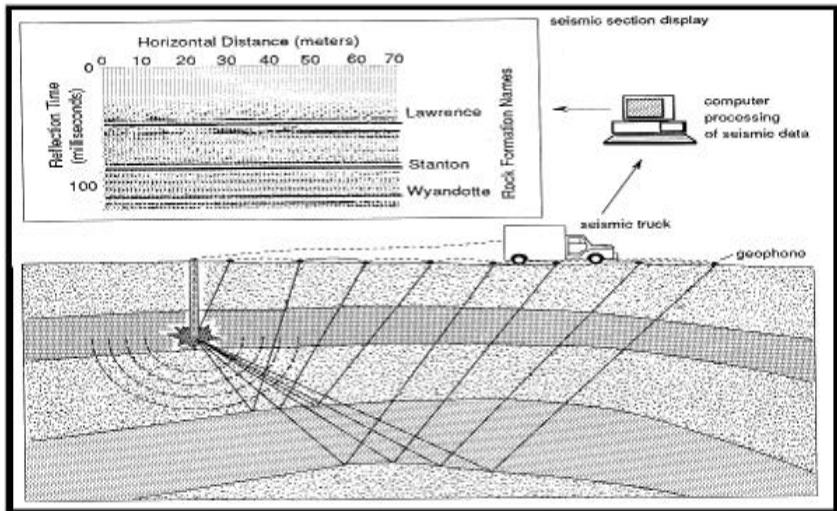
Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda. Ketidak-kontinuan sifat medium ini menyebabkan gelombang seismik yang merambatkan sebagian energinya dan akan dipantulkan serta sebagian energi lainnya akan diteruskan ke medium di bawahnya. Suatu sumber energi dapat menimbulkan bermacam-macam gelombang, masing-masing merambat dengan cara yang berbeda (Telford dkk, 2004).

Gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu gelombang permukaan dan gelombang badan. Gelombang badan merupakan jenis gelombang yang digunakan pada seismic refleksi dan terdiri atas gelombang P dan gelombang S. Pemanfaatan gelombang P dan S tersebut sangat berguna dalam eksplorasi hidrokarbon khususnya di dalam menggambarkan litologi reservoir yang tersaturasi fluida. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan sifat gelombang P dan gelombang S saat melewati suatu litologi. Tidak seperti gelombang P yang dapat merambat pada medium fluida, gelombang S justru tidak dapat merambat pada medium fluida sehingga penjarannya tidak dipengaruhi oleh keberadaan fluida dalam kasus ini khususnya pada litologi reservoir yang tersaturasi fluida. Sehingga jika gelombang P dan gelombang S merambat dari suatu litologi yang tidak tersaturasi fluida ke litologi yang tersaturasi fluida maka kecepatan gelombang P akan menurun sedangkan kecepatan gelombang S tetap (Utama dkk, 2016).



Gambar 2.3 Pergerakan Gelombang P dan S. (Hampson-Russel, 2006)

Metode seismik refleksi adalah satu metode geofisika eksplorasi yang memanfaatkan gelombang pantul yang menembus batas bidang lapisan batuan berdasarkan sifat fisisnya. Gelombang yang datang mengenai lapisan-lapisan batuan akan mengalami pemantulan, pembiasan, dan penyerapan. Respon batuan terhadap gelombang yang datang akan berbeda-beda tergantung sifat fisik batuan yang meliputi densitas, porositas, kepadatan, dan kedalaman batuan. Akuisisi seismik umumnya dapat dilakukan di darat dan di laut. Keduanya menggunakan getaran buatan yang menghasilkan seperti ledakan *dynamit*, *vibroseis*, dan *airgun*. Kemudian gelombang tersebut diterima oleh *receiver* yang bernama *geophone*. Gelombang yang tertangkap oleh *geophone* di permukaan akan diteruskan ke instrumen untuk direkam (Telford dkk, 2004).



Gambar 2.4 Akuisisi Seismik. (Hampson-Russel, 2006)

## 2.3 Komponen Dasar Seismik Refleksi

### 2.3.1 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi

Refleksi seismik awalnya berasal dari bidang batas yang menunjukkan kontras densitas dan kecepatan ( $\rho$  dan  $V$ ) yang cukup. Masing-masing lapisan tersebut memiliki impedansi akustik yang dirumuskan sebagai berikut :

$$AI = \rho \cdot V \quad (2.1)$$

AI adalah impedansi Akustik (m/s. g/cm ),  $\rho$  adalah densitas (g/cm<sup>3</sup>), dan  $v$  adalah kecepatan (m/s).

Sedangkan bidang batas antar lapisan umumnya berkaitan dengan bidang sedimentasi, ketakselarasan dan lain-lain. Dalam penjalarannya, gelombang seismik sering dituliskan dalam bentuk raypath, dan berlaku hukum Snell. Respon seismik dari sebuah muka gelombang terpantul bergantung dari besarnya perubahan  $\rho$  dan  $V$  nya, yang dinyatakan dalam nilai densitas dan kecepatan dari tiap-tiap lapisan pada interfacenya.

Faktor kecepatan dari batuan lebih mempunyai arti penting dalam mengontrol harga impedansi akustik dibandingkan dengan densitas. Anstey (1977) menganalogikan impedansi akustik dengan *acoustic hardness* dimana batuan yang keras dan susah dimampatkan mempunyai impedansi akustik yang tinggi, sedangkan batuan lunak lebih mudah dimampatkan dan mempunyai impedansi akustik yang rendah. Energi seismik yang terus menjalar ke dalam bumi akan diserap dalam tiga bentuk berikut :

- Divergensi *spherical* dimana kekuatan gelombang (energi per unit area dari muka gelombang) menurun sebanding dengan jarak akibat adanya *spreading* geometris. Besar pengurangan densitas ini adalah berbanding terbalik dengan kuadrat jarak penjalaran gelombang.
- Absorpsi atau Q dimana energi berkurang karena terserap oleh massa batuan. Besar energi yang terserap ini meningkat dengan frekuensi.
- Terpantulkan yang merupakan dasar penggunaan metode seismic refleksi. Perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energy yang datang pada keadaan normal (Koefisien Refleksi) adalah:

$$KR = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \quad (2.2)$$

$IA_1$  adalah impedansi akustik dari lapisan satu,  $IA_2$  impedansi akustik dari lapisan dua, dan KR adalah koefisien refleksi (Telford dkk, 2004).

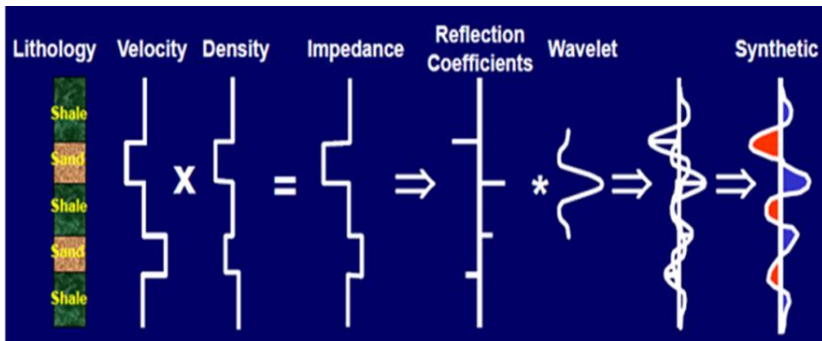
### 2.3.2 Model Konvolusi

Sebuah rekaman seismik merupakan hasil konvolusi antara medium bumi (reflektivitas) dengan suatu masukan sumber sinyal seismik (*wavelet*). *Wavelet* yang digunakan sebaiknya mempunyai frekuensi dan bandwith yang sama dengan penampang seismik. Reflektivitas final merupakan superposisi dari refleksi-refleksi semua reflektor. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$St = Wt * Kr \quad (2.3)$$

St adalah *trace* seismic, Wt adalah *wavelet*, dan Kr adalah deret koefisien refleksi (Schroeder, 2006).





Gambar 2.5 Model Kowolinski (Schroeder, 2006)

### 2.3.3 Polaritas dan Fasa *Wavelet*

Polaritas *wavelet* merupakan suatu konvensi rekaman dan penampang dari data seismik. *Society Exploration of Geophysics* (SEG) mendefinisikan polaritas normal sebagai berikut:

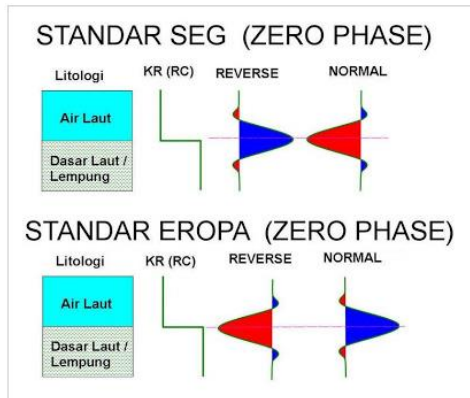
1. Sinyal seismik positif akan menghasilkan tekanan akustik positif pada *hidrophone* di air atau pergerakan awal ke atas pada *geophone*.
2. Sinyal seismik yang positif akan terekam sebagai nilai negatif pada *tape*, defleksi negatif pada monitor dan *trough* pada penampang seismik.

Polaritas *wavelet* mempunyai peranan sangat kritis dalam interpretasi dan oleh karenanya harus dipahami pada awal interpretasi. Polaritas dapat ditentukan dari:

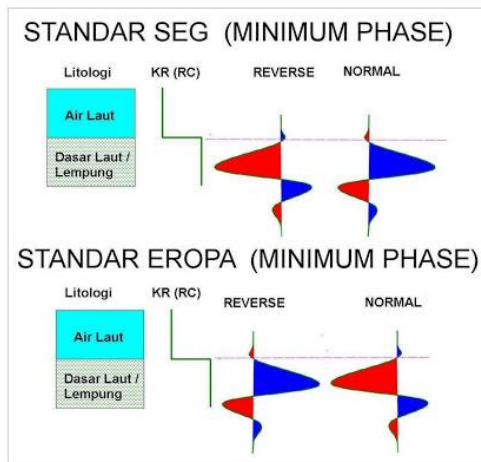
1. Keterangan penampang seismik.
2. Menghitung jenis polaritas untuk batas impedansi akustik yang pasti.
3. Membandingkan data seismik dengan data sumur pada saat pengikatan data seismik dan sumur.

Gelombang seismik yang ditampilkan dalam rekaman seismik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu fase minimum dan fase nol. Pada gelombang fase minimum, energi yang berhubungan dengan batas impedansi akustik terkonsentrasi pada *onset* di bagian muka gelombang tersebut, sedangkan pada fase nol batas impedansi akustik akan terdapat pada *peak* bagian tengah. Dibandingkan dengan fase minimum, fase nol mempunyai beberapa kelebihan:

1. Untuk spektrum amplitudo yang sama, sinyal fase nol akan selalu lebih pendek dan beramplitudo lebih besar daripada fase minimum, sehingga rasio sinyal-noise-nya juga akan lebih besar.
2. Amplitudo maksimum sinyal fase nol umumnya akan selalu berimpit dengan *spike* refleksi, sedangkan pada kasus fase minimum amplitudo maksimum tersebut terjadi setelah *spike* refleksi terkait (Abdullah, 2007).



Gambar 2.6(a) Polaritas *wavelet* fasa nol (Abdullah, 2007).

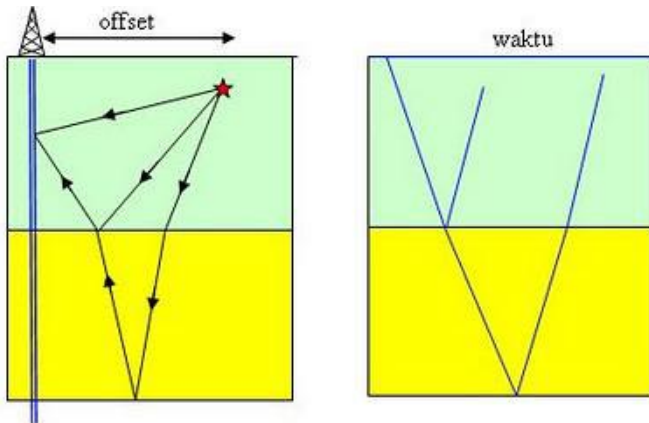


Gambar 2.6(b) Polaritas *wavelet* fasa minimum (Abdullah, 2007).

## 2.4 Checkshot

*Checkshot survey* dilakukan untuk mendapatkan *Time-Depth curve* yang digunakan untuk pengikatan data seismik dan sumur, perhitungan kecepatan interval, kecepatan rata-rata dan koreksi data sonik pada pembuatan seismogram sintetik. Pada *check-shot survey*, kecepatan rambat gelombang diukur dalam lubang bor dengan sumber gelombang di atas permukaan. Pengukurannya dilakukan pada lapisan-lapisan yang ditentukan berdasarkan data log geologi dan

waktu *first-break* rata-rata untuk tiap lapisan dilihat dari hasil pengukuran tersebut (Abdullah, 2007).

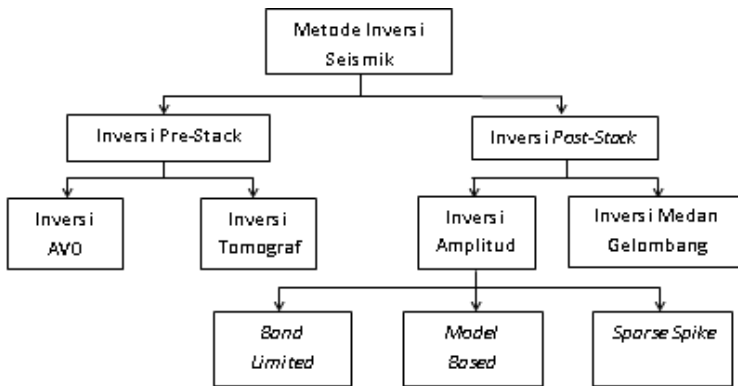


Gambar 2.7 Checkshot survey (Abdullah, 2007).

## 2.5 Inversi Seismik

Menurut Sukmono (2000), seismik refleksi dapat diinterpretasi melalui berbagai metode, salah satunya adalah inversi. Inversi seismik adalah suatu teknik untuk membuat model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol.

Rekaman seismik pada dasarnya merupakan hasil konvolusi antara koefisien refleksi dengan *wavelet* yang sering disebut sebagai pemodelan ke depan (*forward modelling*). Sedangkan pemodelan ke belakang (*inverse modelling*) merupakan proses dekonvolusi antara seismik dengan *wavelet* yang menghasilkan koefisien refleksi. Penampang impedansi akustik akan memberikan gambaran bawah permukaan secara lebih jelas bila dibandingkan dengan penampang seismik konvensional. Koefisien refleksi yang tergambar oleh data seismik bersifat *unlimited*, sedangkan *wavelet* seismik bersifat *band limited*. Dengan demikian pada saat kedua besaran tersebut dikonvolusikan maka akan menghasilkan *seismic trace* yang bersifat *band limited* pula. Dengan demikian, terdapat kisaran frekuensi rendah dan tinggi yang hilang. Pada saat akan melakukan inversi sangatlah harus melakukan *recovery* terhadap frekuensi yang hilang tersebut, karena apabila tidak dilakukan akan mengakibatkan nilai impedansi akustik yang dihasilkan salah, selain itu resolusi dan model yang dihasilkan juga salah.



Gambar 2.8 Jenis Inversi Seismik (Sukmono, 2000).

### 2.5.1 Metode Inversi Berdasarkan Model (*Model Based*)

Pada metode ini langkah yang pertama dilakukan adalah membangun model geologi, kemudian model tersebut dibandingkan dengan data seismik, diperbarui secara iteratif sehingga didapatkan kecocokan yang lebih baik dengan data seismik. Semakin banyak iterasinya maka koefisien korelasi antara seismik sintetik dan seismik riilnya semakin besar dan error semakin kecil. Hasil keluarannya berupa model yang sesuai dengan data masukan. Hubungan antara model dengan data seismik dapat dijelaskan dengan metode *Generalized Linear Inversion* (GLI). Jika terdapat sebuah data observasi geofisika, metode GLI akan menurunkan model geologi yang paling sesuai dengan data observasi. GLI menganalisis deviasi kesalahan antara model keluaran dan data observasi, kemudian parameter model diperbaharui untuk menghasilkan keluaran dengan kesalahan sekecil mungkin. Metode ini membutuhkan suatu model impedansi akustik awal yang biasanya diperoleh dari hasil perkalian antara data log kecepatan dengan data log densitas

Harga koefisien refleksi ini dikonvolusikan dengan wavelet untuk mendapatkan seismogram sintetik yang sama dengan jejak seismik berdasarkan harga impedansi model dengan rumusan pada persamaan 2.3. Hasil seismogram sintetik ini dibandingkan dengan jejak seismik riil secara iteratif dengan mengubah-ubah parameter pada model awal untuk memperoleh korelasi yang bagus antar kedua data ini dengan tingkat kesalahan yang terkecil. Kelebihan metode inversi model based adalah hasil yang didapatkan memiliki informasi yang lebih akurat dan jelas karena memasukkan komponen frekuensi rendah (dari data log), dan nilai impedansi akustik yang didapat rata-rata memiliki harga impedansi akustik yang kontras sehingga mempermudah dalam penentuan batas atas (top) dan batas bawah (bottom) suatu lapisan reservoir.

Hasil akhir dari suatu proses inversi data seismik adalah berupa data impedansi akustik yang memiliki informasi lebih lengkap dibandingkan data seismik. Perubahan amplitudo pada data seismik hanyalah mencerminkan suatu bidang batas antar lapisan batuan sehingga bisa dikatakan bahwa data seismik adalah attribut dari suatu bidang batas lapisan batuan. Sedangkan impedansi akustik mencerminkan sifat fisis dari batuan. Secara matematis impedansi akustik batuan adalah hasil perkalian antara harga kecepatan dengan harga densitas suatu batuan. Impedansi akustik merupakan sifat fisis batuan yang dengan mudah dapat langsung dikonversikan menjadi karakter suatu batuan (reservoir) seperti ketebalan, litologi, maupun fluida pengisi batuan (Hernowo dkk, 2010).

## **2.6 *Extended Elastic Impedance* atau Impedansi Elastik dengan Rentang Sudut yang Diperluas.**

### **2.6.1 Impedansi Elastik**

Impedansi elastik adalah impedansi batuan ketika terkena gelombang seismik atau gelombang yang datang dari arah yang membentuk sudut. Gelombang seismik adalah gelombang elastik karena terdiri atas gelombang P yang akustik atau pergerakan arah partikelnya searah dengan arah rambat gelombang dan gelombang S yang *shearing* atau pergerakan arah partikelnya tegak lurus dengan arah rambat gelombang. Persamaan impedansi elastik diperoleh dari perkalian densitas batuan dengan komposit cepat rambat gelombang P dan gelombang S dalam batuan.

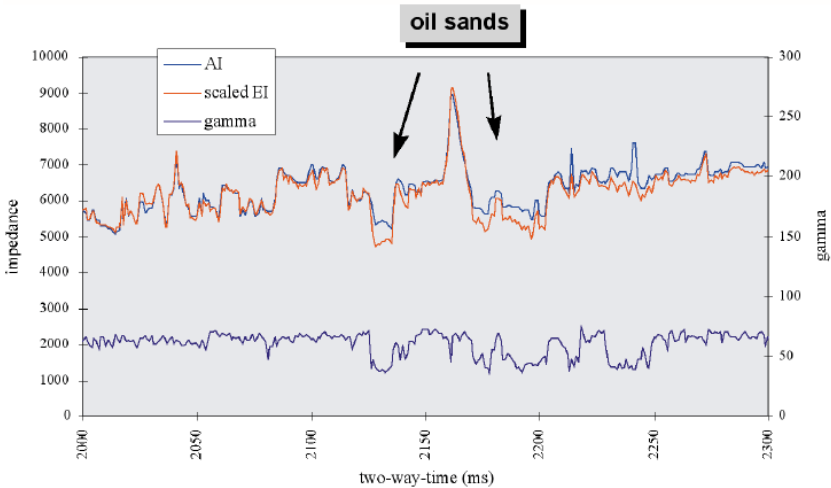
$$I(\theta) = \rho^{(1-4K \sin 2\theta)} v P^{(1+\tan 2\theta)} v S^{(-8K \sin 2\theta)} \quad (2.4)$$

$K$  pada persamaan adalah substitusi dari  $v_s^2/v_p^2$ . Apabila sudut yang terbentuk sama dengan  $0^\circ$ , persamaan impedansi elastik diatas dapat memenuhi asumsi impedansi akustik (Whitcombe dkk, 2002).

Impedansi elastik adalah fungsi dari cepat rambat gelombang P, gelombang S, dan sudut insiden. Untuk menghubungkan impedansi elastik dengan data seismik, data stak seismik harus dalam bentuk *angle stack*, bukan dalam bentuk beberapa *stack offset*. Terdapat beberapa cara dalam membuat stak data yang baik untuk digunakan, yaitu dengan *mute design* atau dengan kombinasi linear dari fungsi *intercept* dan *gradient*.

Impedansi elastik dikembangkan oleh *British Petroleum* pada tahun 1990an dalam eksplorasi dan pengembangan di provinsi *Atlantic Margins* disebelah barat *Shetlands*. Pada salah satu sumur *British Petroleum*, dilakukan analisis impedansi elastiknya. Pada impedansi elastik sudut  $30^\circ$ , batupasir nya terlihat memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan impedansi akustik atau pada sudut  $0^\circ$ . Dapat dikatakan impedansi elastik dapat memberikan

gambaran yang lebih baik dibandingkan impedansi akustik, karena impedansi elastik menganalisis tidak dari sudut kompressional saja, melainkan *shearing* (Connolly, 1999).



Gambar 2.9 Perbandingan log impedansi akustik dan impedansi elastik (Connolly, 1999).

### 2.6.2 Koefisien Refleksi pada Sudut Datang Tidak Normal

Persamaan dasar AVO (*Amplitude Variation with Offset*) atau Persamaan Persamaan Zoeppritz digunakan dalam menghitung nilai koefisien refleksi gelombang P dan gelombang S berdasarkan cepat rambat gelombang P, cepat rambat gelombang S, dan densitas kedua lapisan batuan yang terletak di antara bidang batas. Persamaan Zoeppritz memiliki kelemahan pada bentuk persamaannya yang sangat kompleks. Kemudian, persamaan tersebut dimodifikasi oleh Aki, Richard, dan Frasier menjadi  $\Delta\alpha/\alpha$  yang merupakan fraksi gelombang P pada medium atau reflektivitas gelombang P,  $\Delta\rho/\rho$  yang merupakan fraksi perubahan rapat massa kedua lapisan, dan  $\Delta\beta/\beta$  yang merupakan perubahan fraksi kecepatan gelombang S pada medium atau reflektivitas gelombang S. Persamaan tersebut dimodifikasi oleh Wiggins dkk. (1983) menjadi persamaan baru yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan senyawa hidrokarbon dalam batuan, dikenal sebagai *Lithology Hydrocarbon Indicator* (LHI).

$$R(\theta) = A + B \sin^2\theta \quad (2.5)$$

$$R(\theta) = A + B \sin^2\theta + C \tan^2\theta \sin^2\theta \quad (2.6)$$

A adalah *intercept*, B adalah *gradient*, dan C adalah *curvature*. A, B, dan C merupakan atribut AVO.

Wiggins, dkk. (1983) membagi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi amplitudo ke dalam zona-zona sudut datang gelombang tertentu saat jatuh pada bidang batas tertentu, yaitu sudut normal (suku pertama), sudut sub-kritis (suku kedua), dan pendekatan pada sudut kritis (suku ketiga). Persamaan (2.5) atau persamaan Aki-Richard orde dua digunakan untuk menghitung koefisien refleksi dengan sudut datang di bawah  $35^\circ$  sedangkan persamaan (2.6) atau persamaan Aki-Richard orde tiga digunakan untuk menghitung koefisien refleksi dengan sudut datang lebih besar dari  $35^\circ$ . Apabila persamaan (2.5) digunakan untuk menghitung nilai koefisien refleksi dengan sudut datang lebih besar dari  $35^\circ$ , nilai koefisien refleksi yang terbentuk memiliki *trend* yang linier dan tidak akurat dari yang seharusnya memiliki trend garis parabolik mendekati trend garis yang dibentuk oleh persamaan Zoeppritz (Whitcombe dkk, 2002).

### 2.6.3 Rentang Sudut yang Diperluas

Persamaan Zoeppritz yang telah disederhanakan oleh Aki-Richard (persamaan 2.5 dan 2.6) memiliki masalah yaitu nilai koefisien refleksi yang terhitung akan melebihi 1 kecuali nilai impedansi batuan yang terbentuk bernilai negatif. Akibatnya, ketika nilai  $|\sin^2\theta|$  mendekati 1 nilai impedansi elastik menjadi rancu. Suku  $\sin^2\theta$  dalam pendekatan linier persamaan Zoeppritz memiliki rentang observasi koefisien refleksi terbatas hanya dari 0 hingga 1 sedangkan reflektivitas pada arah negatif diperoleh dari ekstrapolasi.

Whitcombe membuat definisi baru dari konsep impedansi elastik dapat dibuat dengan cara mengganti variabel  $\sin^2\theta$  pada persamaan (2.5) menjadi  $\tan\chi$  sehingga nilai yang dihasilkan dari persamaan tersebut akan berada pada rentang negatif hingga positif daripada 0 hingga 1, sehingga jangkauan sudut impedansi elastik (EI) yang semula hanya  $0^\circ$  hingga  $90^\circ$  menjadi *Extended Elastic Impedance* (EEI) dengan jangkauan sudut  $-90^\circ$  hingga  $90^\circ$ , persamaan EEI dapat ditulis sebagai berikut:

$$R(\chi)=A+B \tan\chi \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 memiliki nilai  $\pm\infty$ , supaya nilai reflektivitasnya tidak lebih dari satu, ruas kiri dan kanan persamaan dikalikan dengan factor scaling atau  $\cos\chi$ . Persamaan reflektivitas EEI menjadi:

$$Rs=R\cos\chi \quad (2.8)$$

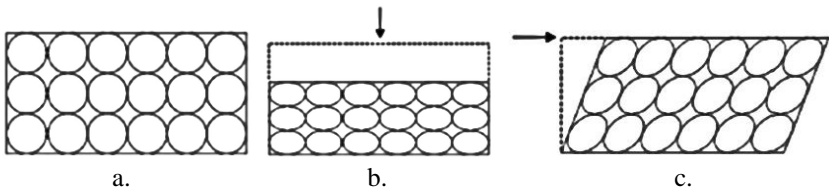
$$Rs=A\cos\chi+B\sin\chi \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 merupakan definisi baru dari impedansi elastik, yaitu impedansi elastik dengan jangkauan sudut yang diperluas atau disebut juga dengan *extended elastic impedance* (Whitcombe dkk, 2002).

## 2.7 Parameter Lamé

Batuan akan mengalami efek yang berbeda saat dilalui gelombang P dan S. Ketika sebuah batuan terkena gelombang P atau gaya mekanis berupa tekanan yang datang dari sudut normal terhadap permukaan batuan (0 derajat), maka butiran-butiran penyusun atau matriks batuan akan saling mendekat sehingga jumlah volume pori-pori yang terdapat dalam batuan berkurang dan batuan tersebut bersifat lebih padat. Berbeda saat batuan terkena gelombang S atau gaya *shear*, matriks batuan akan mengalami pergeseran saja atau tidak terjadi kompresi yang merubah volume pori-pori batuan.

Ketika pori batuan tersebut diisi oleh fluida (air atau minyak), batuan tersebut bersifat lebih padat daripada batuan yang terisi gas karena batuan yang berisi fluida akan lebih sulit ditekan daripada batuan yang berisi gas karena pori-pori nya terisi oleh material yang memiliki nilai densitas lebih besar dari gas. Karena properti gas yang bisa mengecil dan membesar mengikuti ruang (tidak padat) maka lebih mudah untuk mengalami kompresi. Maka, lambda atau inkompresibilitas ( $\lambda$ ) adalah nilai kemampatan dari sebuah batuan. Ukuran dari matriks dan porositas batuan merupakan komponen yang mempengaruhi nilai lambda atau inkompresibilitas ini. Batuan berpori akan lebih mudah ditekan dibandingkan dengan batuan tidak berpori. Semakin besar volume pori-porinya maka semakin mudah pula batuan tersebut untuk ditekan, sedangkan Rigiditas atau modulus geser ( $\mu$ ) adalah nilai kekakuan batuan ketika diberikan gaya *shear*. Dengan kata lain, rigiditas adalah kecenderungan sebuah objek untuk berubah atau terdeformasi dari bentuk semula ketika diberikan gaya-gaya yang berlawanan. Besaran ini merupakan besaran turunan dari viskositas. Rigiditas juga digunakan sebagai indikator untuk mengidentifikasi fluida dalam batuan berpori dan membedakan jenis litologi batuan karena fluida tidak memiliki modulus geser ( $\mu = 0$ ). Dari penjelasan diatas, lambda dan mu merupakan parameter fisis dari batuan yang dapat dilakukan untuk analisis properti batuan tersebut (Goodway, 2001).



Gambar 2.10a Batuan dalam keadaan normal. 2.11b Batuan bila dilalui gelombang S. 2.11c Batuan bila dilalui gelombang P (Goodway, 2001).

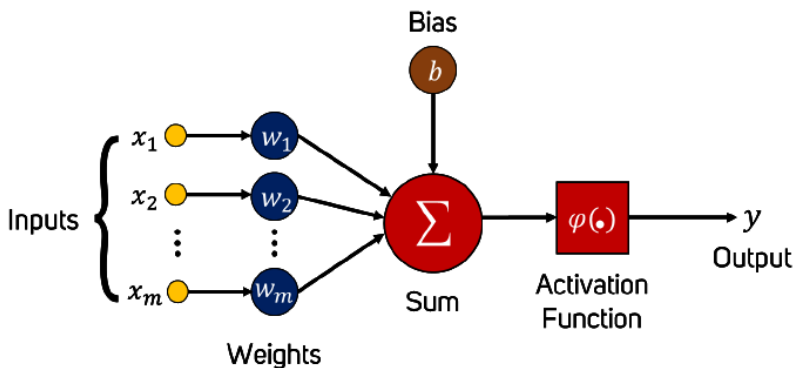


## 2.8 Artificial Neural Network

*Artificial Neural Network* (ANN) adalah kumpulan unit pemrosesan yang saling berhubungan yang mampu menyimpulkan (atau mempelajari) hubungan antara *input* dan *output*. *Neural network* meniru cara kerja otak dalam dua aspek yaitu pengetahuan atau data didapatkan dari proses *training* dan kekuatan koneksi *interneuron* yang diketahui sebagai bobot yang digunakan untuk menyimpan pengetahuan tersebut. Metode ini menggunakan elemen non-linier dasar yang disebut neuron. Neuron tersebut diorganisasikan sebagai jaringan yang saling terhubung, sehingga mirip dengan jaringan syaraf manusia.

ANN yang dibentuk bertujuan untuk memecahkan suatu masalah tertentu seperti pengelompokan pola atau klasifikasi karena proses pembelajaran. ANN memiliki sistem yang sama dengan neuron biologi yaitu bersifat "*fault tolerant*". *Fault tolerant* terbagi menjadi dua. Hal yang pertama yaitu dapat mengenali sinyal masukan yang sedikit berbeda dengan sinyal yang pernah diterima sebelumnya. Hal yang kedua yaitu tetap mampu bekerja meskipun beberapa neuronnnya tidak mampu bekerja dengan baik (apabila salah satu neuron rusak maka, neuron lain dapat dilatih untuk menggantikan fungsi neuron yang rusak).

ANN menyerupai otak manusia dalam dua hal, yaitu pengetahuan diperoleh jaringan melakukan proses belajar dan kekuatan hubungan antar sel syaraf (neuron) dikenal sebagai bobot-bobot sinaptik yang digunakan untuk menyimpan pengetahuan. ANN ditentukan oleh tiga hal yaitu pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung (disebut metode pelatihan/*learning knowledge*), dan fungsi aktivasi untuk keluaran suatu neuron. Dasar pemrosesan dari ANN adalah neuron buatan yang ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.11 Ilustrasi perhitungan matematika dari *artificial* neuron (modifikasi dari De Oliveira, dkk., 2017)

Jaringan pada ANN yang memiliki beberapa masukan menggambarkan sebuah neuron dengan jumlah masukan  $i$  pada setiap masing-masing masukan  $x_1, x_2, \dots, x_i$  diberi bobot  $w_1, w_2, \dots, w_i$ . Pada setiap masukan diberikan bobot kemudian dijumlahkan dengan  $b$  hingga membentuk sederetan masukan untuk jaringan. Neuron akan menerapkan operasi matematika berikut untuk *input*  $x_i$ , sehingga didapat keluaran :

$$y = (\sum(w_i x_i) + b) \quad (2.10)$$

Dimana  $w_i$  adalah bobot sinapsis,  $b$  adalah bias yang berfungsi untuk menambah atau mengurangi *input* fungsi aktivasi, dan  $\phi$  adalah fungsi aktivasi yang membatasi *output* neuron ke rentang yang telah ditentukan (Haykin, 2004).

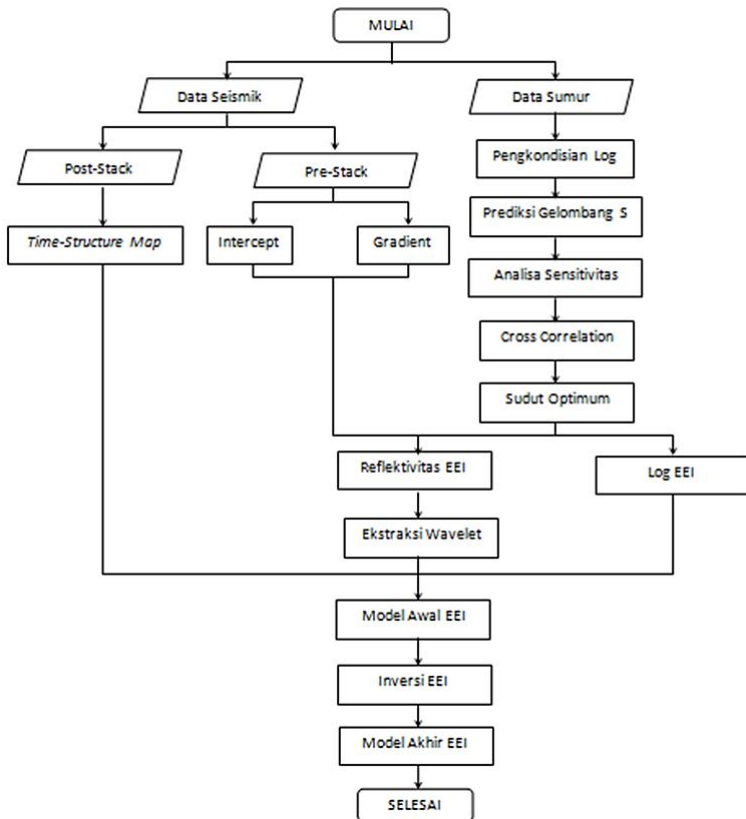
***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir yang berjudul “Inversi *Extended Elastic Impedance* (EEI) untuk Analisis Persebaran Reservoir Batupasir Lapangan “TORO”, Cekungan Barito” ini berada di Lapangan TORO, Cekungan Barito, Kalimantan Selatan dan pengerjaan penelitian tugas akhir dilakukan di Kantor PT. Pertamina EP Asset 5, Balikpapan, Kalimantan Timur. Penelitian ini dilaksanakan mulai dari 29 Januari 2018 sampai dengan 19 April 2018.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

### 3.3 Perangkat

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan seperangkat *workstation* sedangkan perangkat lunak yang digunakan untuk pengolahan data dalam penelitian ini adalah *Software Hampson-Russell Suite (HRS10.0.2)*, dan *Geolog 7*.

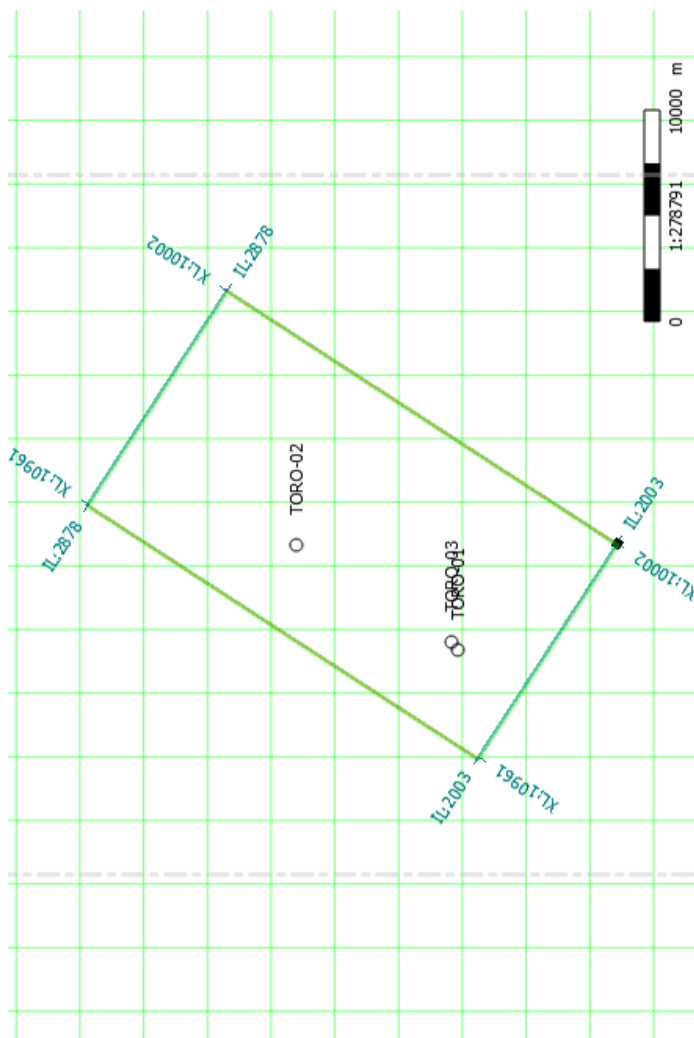
### 3.4 Data Penelitian

#### 3.4.1 Data Seismik

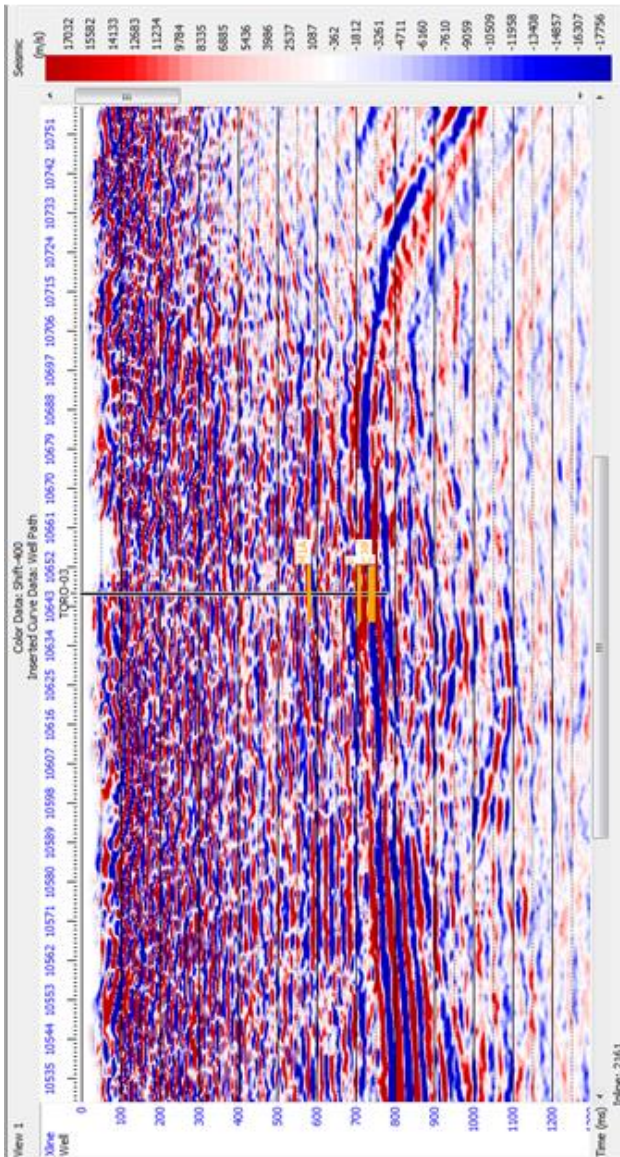
Digunakan dua jenis seismik pada penelitian ini, yaitu *Post-Stack Time Migration Preserved 3D (PSTM 3D Preserved)* dan *Common-Deep-Point Gather (CDP Gather)*. Seismik *PSTM 3D Preserved* adalah data seismik tiga dimensi yang sudah *ditime migration* setelah dilakukan proses *stacking* atau penyamaan nilai amplitudo dari *trace* seismik yang sama dengan cara perataan dan amplitudo pada seismik ini merupakan amplitudo asli (*preserved*). Seismik *CDP Gather* adalah data seismik yang konfigurasi sumber penerimanya terdapat pada satu titik kumpul. Data seismik *PTSM 3D* digunakan untuk proses interpretasi struktur dan data *CDP Gather* digunakan untuk proses pembuatan atribut *AVO Intercept* dan *Gradient*.

**Tabel 3.1** Keterangan seismic *PTSM 3D Preserved* dan *CDP Gather*

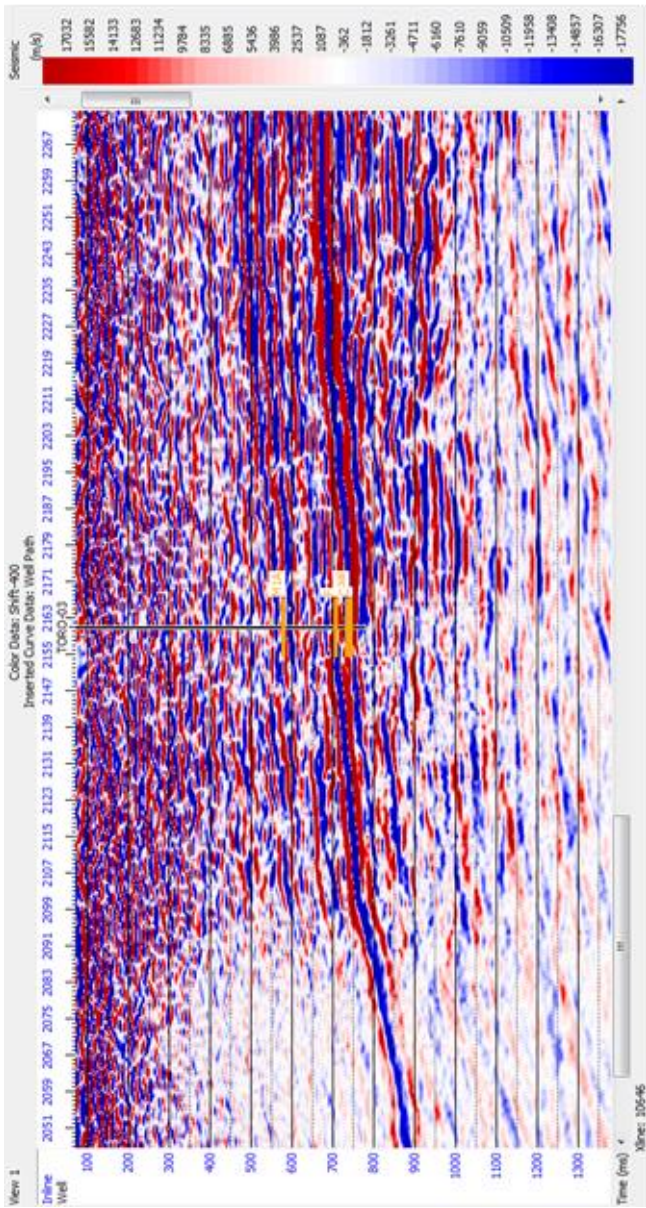
No	Parameter	Keterangan
1	Jarak <i>per-trace</i>	25m
2	Sumber	Dinamit
3	Jumlah <i>Inline</i>	876 (2003-2878)
4	Jumlah <i>Crossline</i>	960 (10002-10961)
5	Jenis Polaritas	SEG <i>Reverse</i>
6	Jenis <i>Wavelet</i>	<i>Zero-phase</i>



Gambar 3.2 Basemap daerah penelitian.



Gambar 3.3 Seismik PSTM 3D Preserved pada inline 2161.



Gambar 3.4 Seismik PSTM 3D Preserved pada crossline 10646.



### 3.4.2 Data Sumur

Digunakan lima buah sumur pada penelitian ini, sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03 dari lapangan “TORO” serta sumur MARS-01 dan MARS-02 dari lapangan “MARS”. Sumur utama penelitian merupakan sumur pada lapangan “TORO”, sedangkan sumur pada lapangan “MARS” digunakan untuk membantu proses prediksi gelombang S. Digunakan sumur dari lapangan “MARS” karena kedua sumur pada lapangan tersebut memiliki gelombang S asli hasil rekaman sehingga mampu dilakukan validasi dan jarak antar lapangan “MARS” dan “TORO” adalah 4km yang terbilang dekat sehingga kedua lapangan mengalami event geologis yang cenderung sama dan kesamaan formasi perlapisan batuan. Adapun data sumur yang digunakan adalah log *gamma ray* (GR), log densitas (RHOB), log sonic atau slowness (DT), *Checkshot*, *Marker* litologi, dan log Gelombang S (S-Wave). Log S-Wave sumur MARS-01 dan MARS-02 didapatkan dari pengukuran di lapangan, sedangkan pada sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03 merupakan hasil dari prediksi menggunakan metode *Artificial Neural Network*. Berikut adalah tabel ketersediaan data dari sumur-sumur yang digunakan.

**Tabel 3.2** Kelengkapan data log

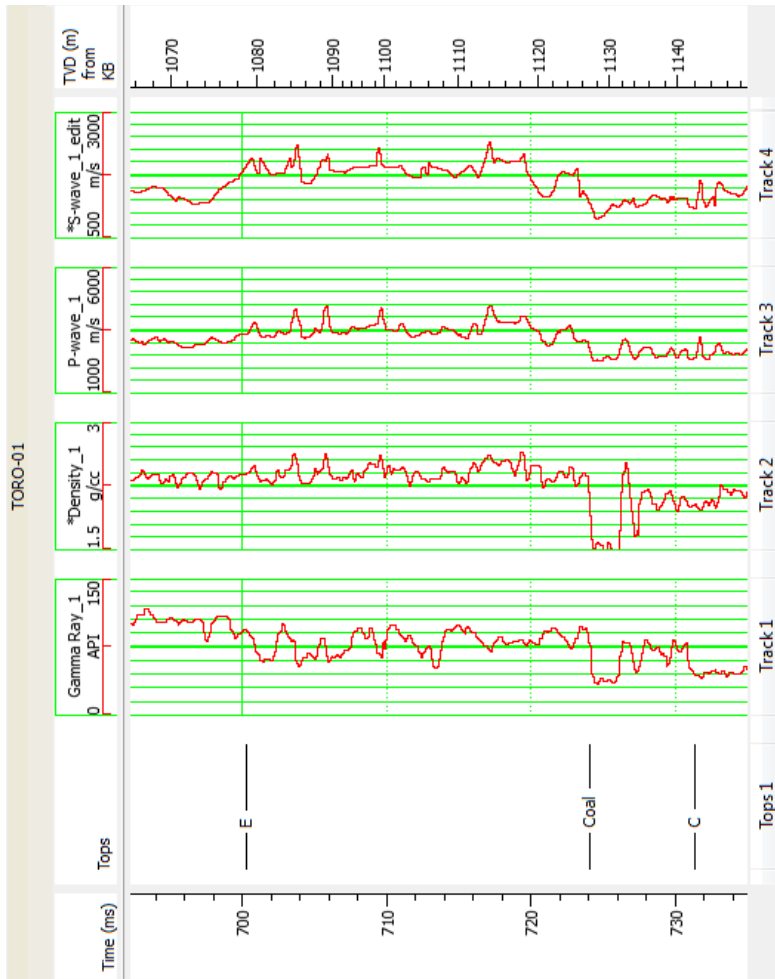
Sumur	Data					
	GR	RHOB	DT	S-Wave	<i>Checkshot</i>	<i>Marker</i>
TORO-01	•	•	•	•	•	•
TORO-02	•	•	•	•	-	•
TORO-03	•	•	•	•	-	•
MARS-01	•	•	•	•	•	•
MARS-02	•	•	•	•	•	•

Keterangan: • Ada, - Tidak ada

Terdapat dua lapisan batupasir yang menjadi fokus pada penelitian ini, yaitu lapisan C dan E. Berikut adalah data *marker top* atau batas bagian atas dari lapisan C dan E pada sumur-sumur penelitian.

**Tabel 3.3** Data *marker top* lapisan penelitian

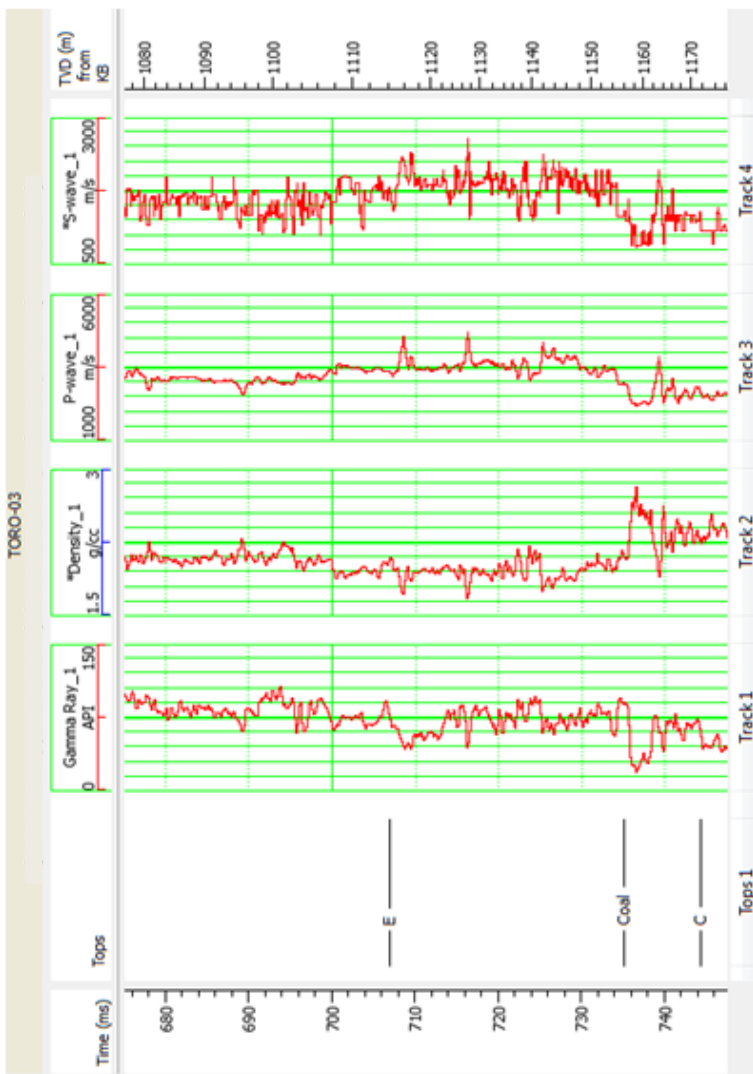
Sumur	Lapisan	
	Top C (m)	Top E (m)
TORO-01	1142.02	1079.00
TORO-02	966.39	847.29
TORO-03	1171.71	1114.22



Gambar 3.5 Data log pada sumur TORO-01.



Gambar 3.6 Data log pada sumur TORO-02.



Gambar 3.7 Data log pada sumur TORO-03.

## 3.5 Pengolahan Data

### 3.5.1 Prediksi Gelombang S

Dibutuhkan gelombang S pada proses inversi EEI, karena gelombang S memiliki informasi mengenai properti elastik batuan yang tidak dimiliki oleh gelombang P. Oleh karena itu, dilakukan prediksi gelombang S pada sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03 karena tidak terdapat gelombang S pada ketiga sumur tersebut.

Proses ini menggunakan *software Geolog7* dengan metode *Artificial Neural Network-Facimage* dalam prediksi gelombang S. Metode ini menggunakan data sumur MARS-01 dan MARS-02 yang merupakan sumur dari lapangan “MARS”. Digunakan sumur MARS-01 dan MARS-02 yang berada diluar lapangan “TORO” (lapangan penelitian) karena kedua sumur tersebut memiliki gelombang S asli hasil rekaman sehingga mampu dilakukan validasi dan jarak antar lapangan “MARS” dan “TORO” adalah 4km, terbilang dekat sehingga kedua lapangan mengalami event geologis yang cenderung sama dan kesamaan formasi perlapisan batuan, sehingga dapat diasumsikan memiliki properti batuan dan respon gelombang S yang mirip. Cara kerja metode ini adalah membuat gelombang S prediksi pada sumur MARS-01 menggunakan data input log yang mampu menggambarkan litologi batuan secara baik, yaitu log GR, log RHOB, dan log DT dari sumur MARS-02, kemudian membandingkan gelombang S prediksi dan gelombang S asli pada sumur MARS-01 dengan cara *crossplot*. Dilakukan pula prediksi gelombang S pada sumur MARS-02 dengan data input log dari sumur MARS-01, hal ini bertujuan untuk mengetahui proses *facimage* dari MARS-01 atau MARS-02 yang memiliki hasil paling mirip dengan gelombang S asli. Proses *facimage* yang memiliki hasil paling baik akan dipropagasikan pada sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03.

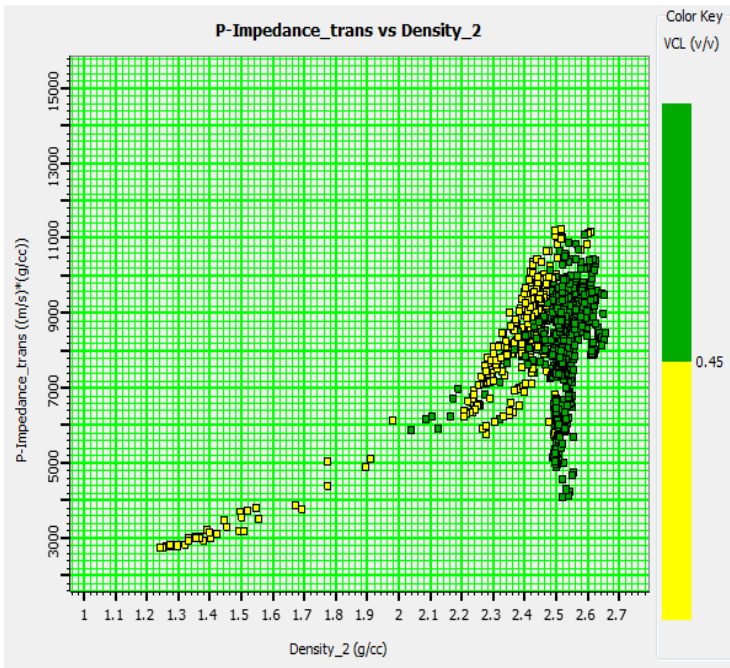
### 3.5.2 Transformasi Log

Transformasi log merupakan membuat log lain dari log yang sudah ada. Dibutuhkan log *P-Impedance*, log *S-Impedance*, log Vp/Vs, log Lambda-Rho, log Mu-Rho, dan log Lambda/Mu untuk proses analisis sensitivitas dan serangkaian proses inversi selanjutnya. Proses transformasi log ini menggunakan *software HRS10.02*. Digunakan log RHOB, log *P-Wave*, dan log *S-Wave* untuk mendapatkan log-log yang sebelumnya sudah disebutkan. Log yang dibuat pertama adalah log *P-Impedance* atau Impedansi akustik, log tersebut dibuat dari log RHOB dan log *P-Wave*. Log yang kedua dibuat adalah log *S-Impedance*, log tersebut dibuat dari log RHOB dan log *S-Wave*. Log yang dibuat ketiga adalah log Vp/Vs atau perbandingan kecepatan gelombang P dan Gelombang S. Log yang dibuat keempat adalah log Lambda-Rho dan Mu-Rho, dibuat dari log *S-Impedance*, log *S-Wave*, dan log RHOB. Log yang dibuat

terakhir adalah log Lambda/Mu, dibuat dari pembagian log Lambda-Rho dan Mu-Rho

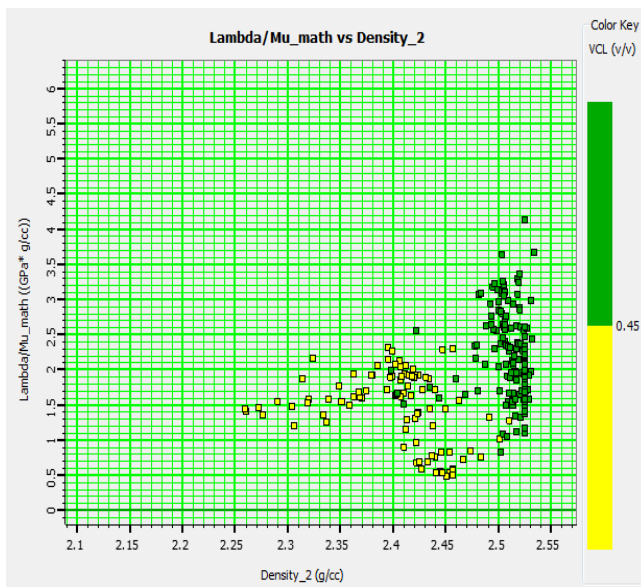
### 3.5.3 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas adalah proses untuk mengetahui kesensitivan atau kemampuan suatu parameter fisis untuk membedakan litologi batuan dan merupakan proses pencarian parameter fisis yang sensitif. Proses analisis sensitivitas ini menggunakan *software HRS 10.02*. Analisis sensitivitas dilakukan dengan membuat *crossplot* atau membuat plot persilangan antara dua jenis log yang berbeda. Tahap pertama yang dilakukan adalah membuat *crossplot* log impedansi akustik dengan log densitas untuk mengetahui sensitivitas dari log impedansi akustik. Apabila hasil *crossplot* kedua log tersebut adalah sensitif, maka dapat dilakukan proses inversi berbasis impedansi akustik. Namun, bila hasilnya tidak sensitif, maka harus dilakukan pencarian parameter fisis lain yang sensitif.



Gambar 3.8 *Crossplot* impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x).

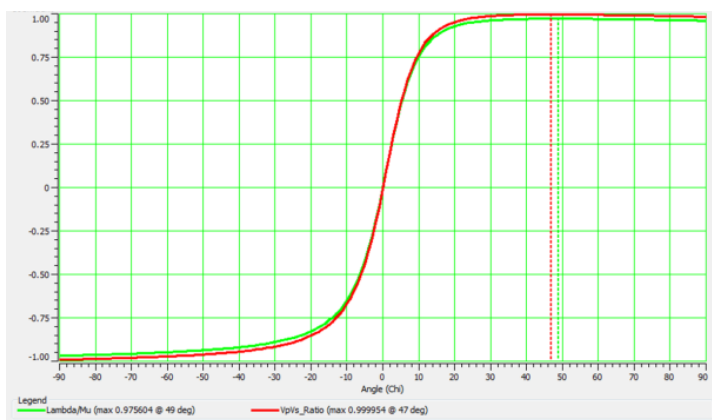
Dari hasil *crossplot* impedansi akustik dengan densitas (gambar 3.8) terlihat bahwa impedansi akustik (sumbu y) tidak dapat membedakan litologi batupasir dengan batuserpih, ditunjukkan dengan keduanya yang berada pada rentang yang sama. Oleh karena itu, inversi seismik berbasis impedansi akustik tidak dapat dilakukan. Dilakukan pencarian parameter fisis lain menggunakan log hasil transformasi sampai didapatkan parameter fisis yang sensitif dengan cara melakukan *crossplot* parameter fisis, densitas, dan skala warna *cutoff* volume *shale*. Digunakan densitas karena nilai densitas batupasir dan batuserpih berbeda sehingga dapat membantu membedakan litologi. Digunakan skala warna *cutoff* volume *shale* karena dari nilai *cutoff*, dapat dibedakan mana yang batupasir dan batuserpih, nilai yang berada dibawah *cutoff* volume *shale* adalah selain batuserpih itu sendiri, pada kasus ini yaitu batupasir. Dari berbagai *crossplot* parameter fisis yang telah dilakukan, parameter fisis Lambda/Mu (gambar 3.9) menunjukkan hasil yang dapat membedakan litologi batupasir dan batuserpih. Karena Lambda/Mu merupakan parameter fisis dari impedansi elastik, maka inversi seismik yang dilakukan adalah inversi seismik berbasis impedansi elastik.



Gambar 3.9 *Crossplot* impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x).

### 3.5.4 Pencarian Sudut Optimum Log EEI

Log *Extended Elastic Impedance* atau EEI memiliki rentang sudut dari  $-90^\circ$  sampai  $90^\circ$ , dengan kata lain log EEI memiliki jangkauan sudut sebesar  $360^\circ$ . Perlu dicari tahu log EEI pada sudut berapa derajat yang mampu menggambarkan respon parameter fisis Lambda/Mu, termasuk termasuk respon kesensitivannya terhadap pengidentifikasian reservoir batupasir di lapangan “TORO”. besar sudut yang dihasilkan disebut sudut optimum. Untuk mengetahui sudut optimum tersebut, Dilakukan *cross correlation* antara log Lambda/Mu (parameter fisis elastik yang sensitif) dengan log EEI dengan rentang  $-90^\circ$  sampai  $90^\circ$  untuk mendapatkan sudut optimum yang digunakan sebagai sudut putar pada proses inversi EEI. *Cross correlation* adalah membandingkan kecocokan dua fungsi yang berbeda, dimana besar kecocokan tersebut digambarkan dengan nilai korelasi, semakin dekat dengan angka 1, maka semakin mirip pula dua fungsi tersebut.



Gambar 3.10 *Cross Correlation* sumur TORO-01, dengan nilai korelasi 0.975604 di sudut  $49^\circ$ .

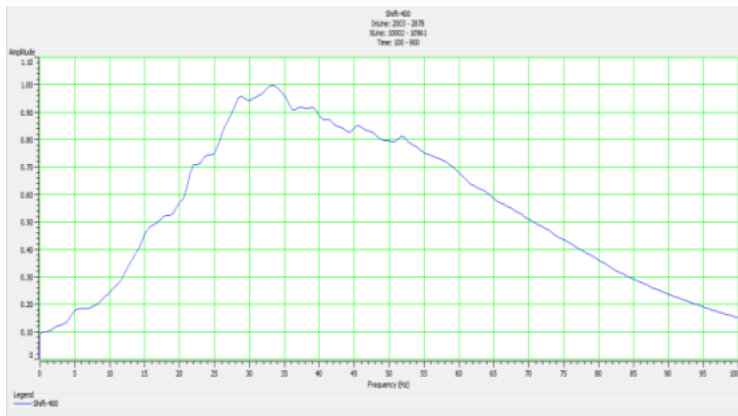
Langkah berikutnya adalah membuat log EEI dengan sudut optimum yang sebelumnya sudah ditentukan, yaitu sebesar  $50^\circ$ . Adapun yang dibutuhkan dalam pembuatan log tersebut adalah gelombang S, gelombang P, densitas, dan besar sudut optimum. Validasi dari log EEI $50^\circ$  yang dibuat berhasil atau benar adalah log tersebut memiliki kemiripan yang sangat tinggi dengan log Lambda/Mu.

### 3.5.5 *Well-to-Seismic Tie*

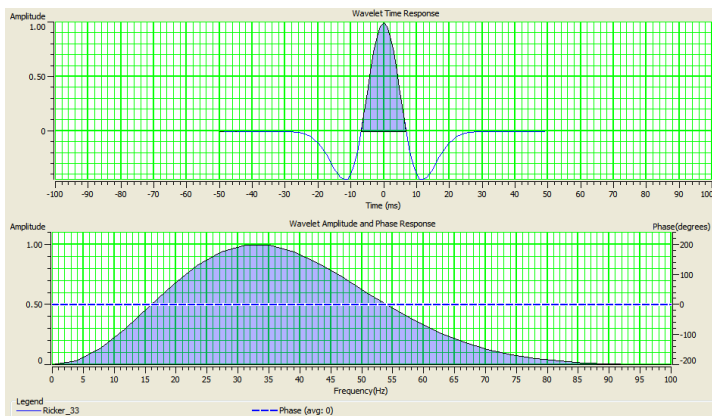


*Well-to-Seismic tie* atau WST adalah proses yang bertujuan untuk mendapatkan kurva time-to-depth yang benar. Proses WST melakukan pengikatan data seismik yang memiliki domain waktu dengan data sumur yang memiliki domain kedalaman. Dikarenakan domain yang berbeda, maka harus dicocokkan bidang batas yang terekam pada sumur dan pada seismik agar diperoleh informasi geologi yang tepat.

Tahap yang dilakukan pertama adalah membuat seismogram sintetik atau jejak seismik sintetik dengan cara mengkonvolusikan koefisien refleksi seismik dengan wavelet. Dilakukan beberapa tipe ekstraksi wavelet, yaitu *Ricker*, *Statistical*, dan *Bandpass*. Nilai hasil korelasi antara jejak seismik sintetik asli dengan jejak seismik asli (tabel 3.1) yang paling tinggi menggunakan *wavelet Ricker*, yaitu *Ricker 33Hz*. *Ricker* merupakan wavelet dengan fasa *zero* dan frekuensi 33Hz merupakan frekuensi dominan dari data seismik yang digunakan.



Gambar 3.11 Hasil *amplitude spectrum* data seismik yang digunakan.



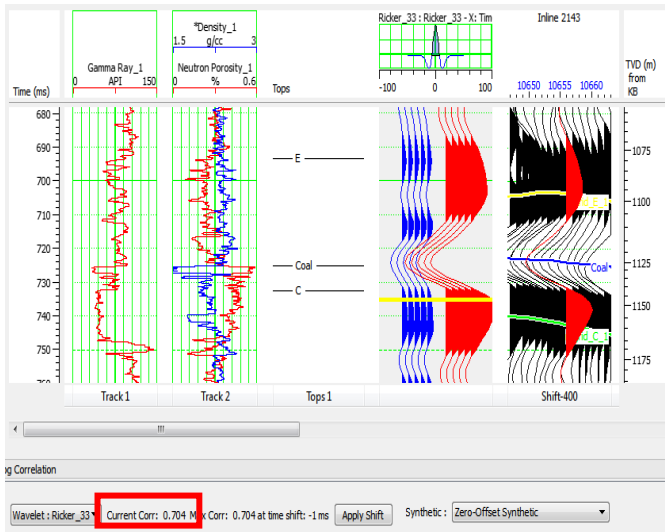
Gambar 3.12 Wavelet *ricker 33Hz* yang digunakan.

Sebelum mulai melakukan *time shifting* dan *stretch-squeeze*, data sumur dilakukan koreksi *checkshot* terlebih dahulu. *Time shifting* merupakan pemindahan interval waktu jejak seismik pada seismogram sintetik secara keseluruhan ke interval waktu jejak seismik asli agar cocok lapisan yang terdapat pada seismogram sintetik dengan seismik aslinya. *Stretch* atau peregangan dan *squeeze* atau pemampatan hanya dilakukan apabila setelah dilakukan *time shift* lapisan pada seismogram sintetik masih belum cocok dengan seismik asli, karena proses *stretch-squeeze* dapat merubah *trend* log sonic sehingga terdapat batas dalam melakukan *stretch-squeeze*.

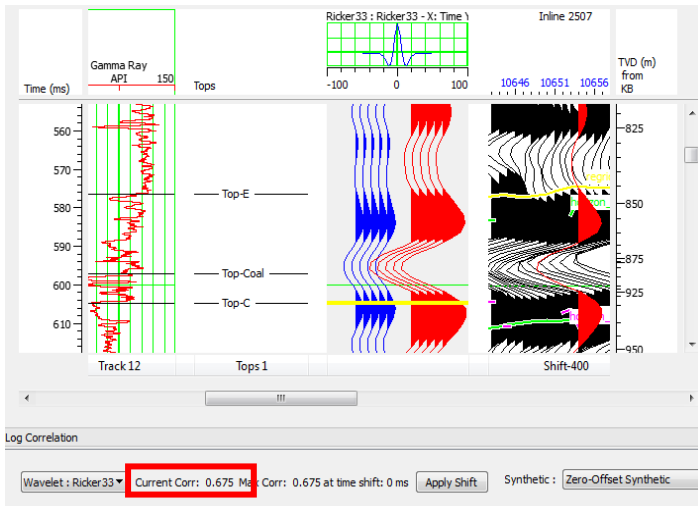
Pada data seismik dan sumur lapangan TORO, terdapat lapisan coal yang sangat kontras dan paling mudah untuk dibedakan dari litologi lain, sehingga lapisan coal menjadi panduan utama selain *marker* litologi dalam proses pengikatan data sumur dan seismik pada lapisan C dan E, formasi Tanjung. Adapun nilai hasil korelasi WST yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.4** Nilai korelasi WST.

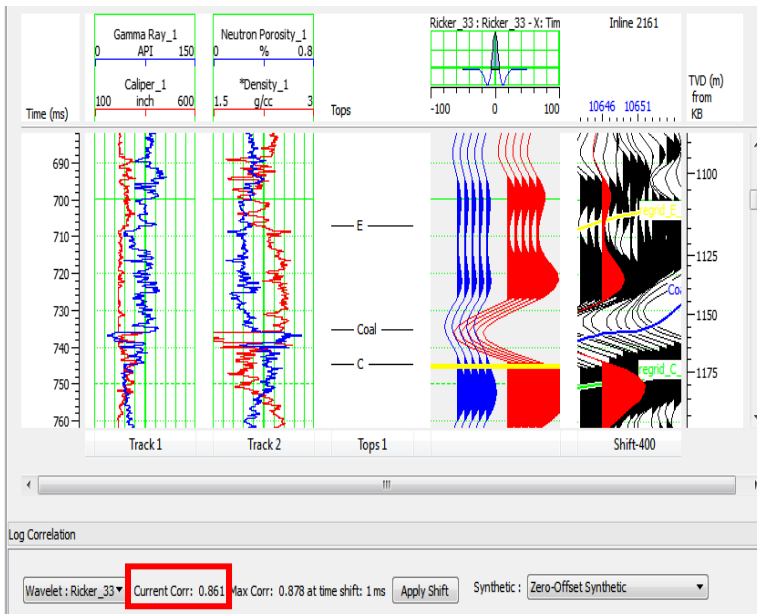
Sumur	Nilai Korelasi		
	<i>Ricker</i>	<i>Statistical</i>	<i>Bandpass</i>
TORO-01	0.704	0.566	0.673
TORO-02	0.675	0.641	0.634
TORO-03	0.861	0.577	0.701



Gambar 3.13 Hasil WST sumur TORO-01 dengan nilai korelasi 0.704.



Gambar 3.14 Hasil WST sumur TORO-02 dengan nilai korelasi 0.675.

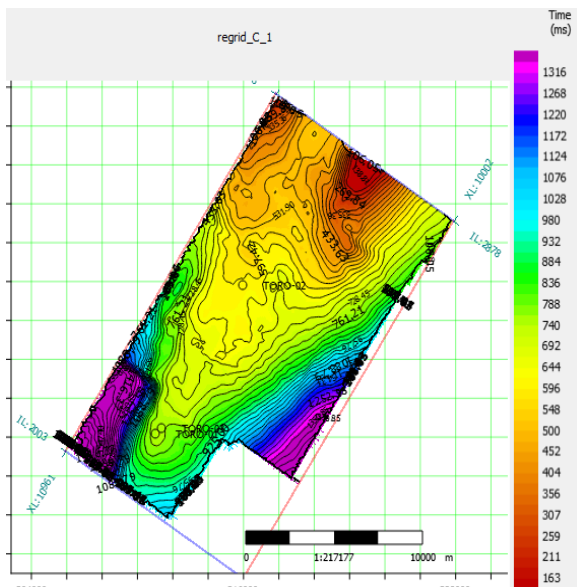


Gambar 3.15 Hasil WST sumur TORO-03 dengan nilai korelasi 0.861.

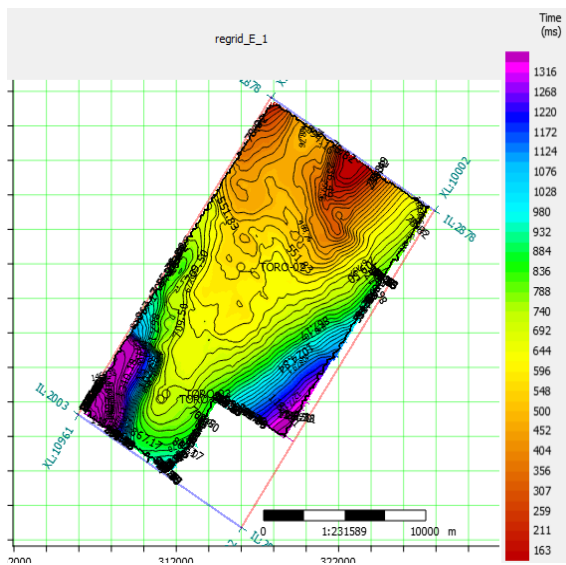
### 3.5.6 Interpretasi Seismik

Interpretasi seismik adalah proses pengidentifikasian model struktur geologi bawah permukaan bumi. Dalam proses ini, dapat dilakukan *picking horizon* untuk identifikasi bidang batas lapisan batuan dan *picking fault* untuk identifikasi patahan. *Picking horizon* dilakukan pada lapisan atau zona target yaitu lapisan C dan E, *picking fault* dilakukan pada patahan-patahan yang melalui lapisan C dan E. Dari hasil WST, marker lapisan C dan E jatuh pada *peak*, sehingga picking horizon pun dilakukan pada *peak* lapisan C dan E. Setelah picking selesai dilakukan, maka dilakukan *gridding* untuk menghasilkan *time-structure map*.





Gambar 3.17 *Time-Structure Map* lapisan C.

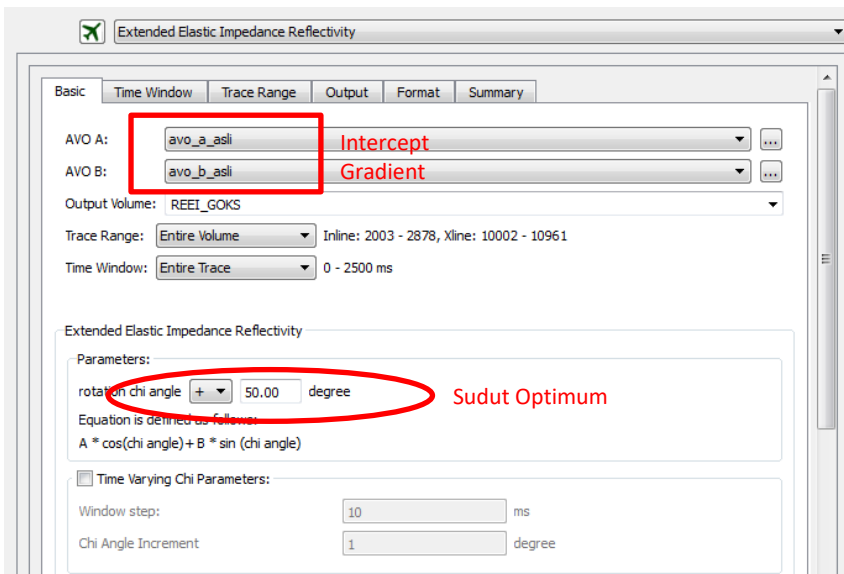


Gambar 3.18 *Time-Structure Map* lapisan E.

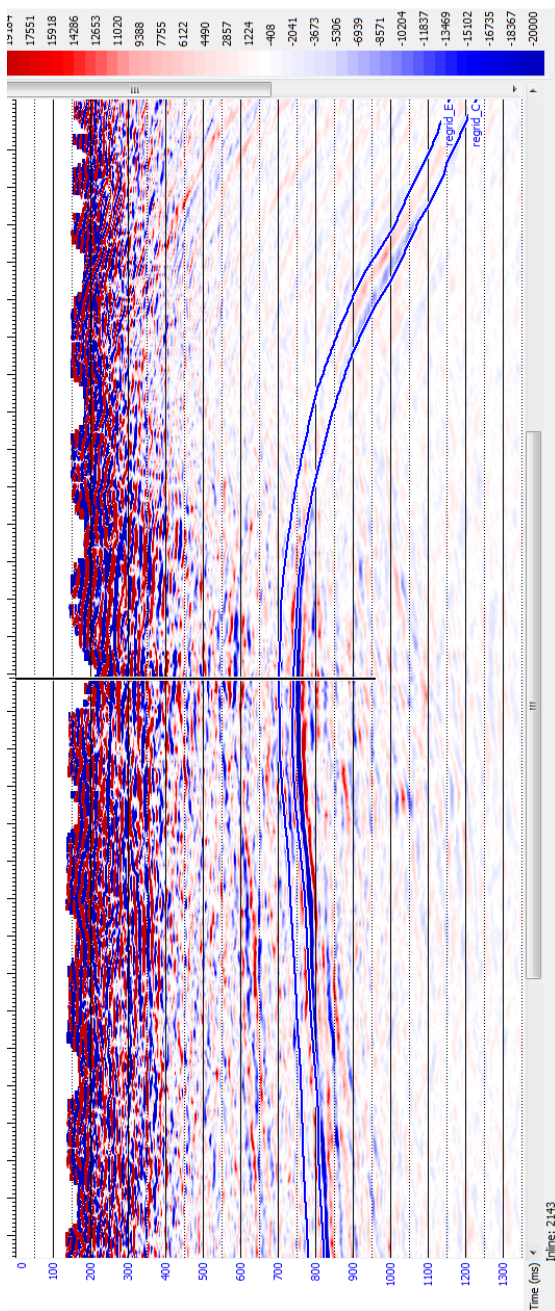
### 3.5.7 Reflektivitas EEI

Untuk membuat penampang reflektivitas seismik berbasis impedansi elastik, maka diperlukan AVO *attribute* berupa *intercept* dan *gradient*. *Intercept* adalah atribut reflektivitas pada sudut datang normal merupakan nilai koefisien refleksi ketika *offset* yang dibentuk adalah nol (*zero offset*) dan *gradient* adalah atribut AVO yang menggambarkan besar *trend* perubahan amplitudo yang terjadi dalam data seismic. Hal ini perlu dilakukan karena penampang seismik yang ada merupakan penampang seismik berbasis impedansi akustik sehingga tidak dapat dilakukan inversi impedansi elastik.

Setelah didapatkan *intercept* dan *gradient*, maka penampang seismik reflektivitas berbasis impedansi elastik dapat dibuat. Reflektivitas EEI 50° merupakan penampang seismik yang dibuat dari sudut optimum EEI, *Intercept*, dan *Gradient*. Dilakukan *structural smoothing* dengan *trace smoothing*=5 pada penampang seismik reflektivitas EEI 50° karena hasil *trace* seismiknya *jagged* atau bergerigi, hal ini dibuktikan dari penampang yang ada dan hasil *wavelet* yang di ekstraksi.

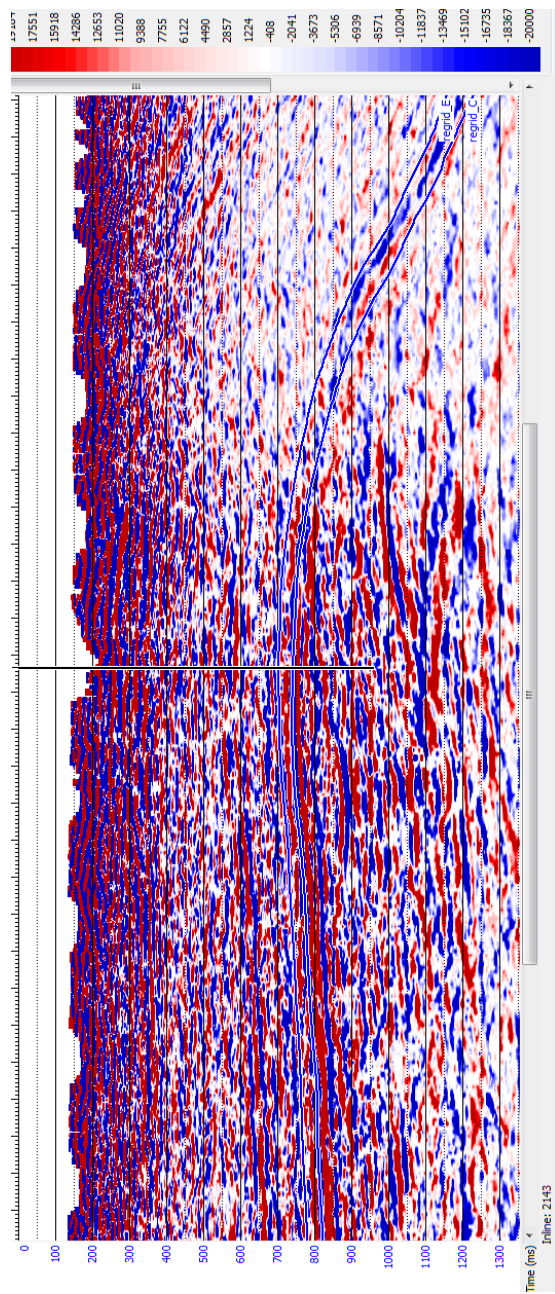


Gambar 3.19 Parameter input pembuatan penampang seismik reflektivitas EEI 50°.

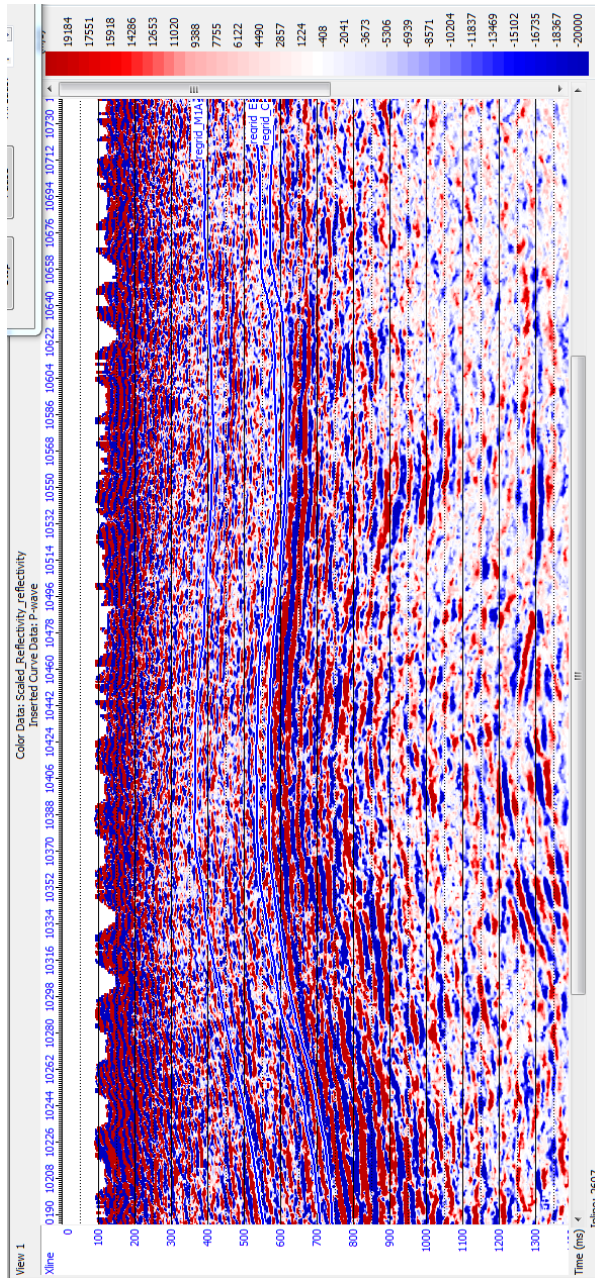


Gambar 3.20 Penampang *Intercept*.

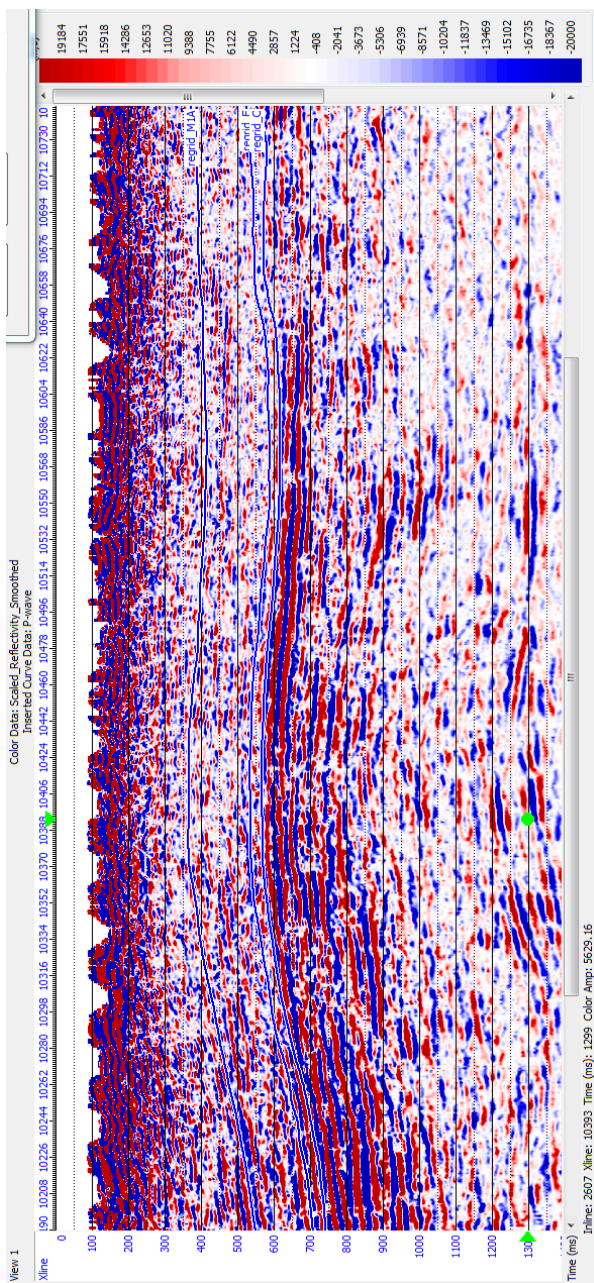




Gambar 3.21 Penampang Gradient.



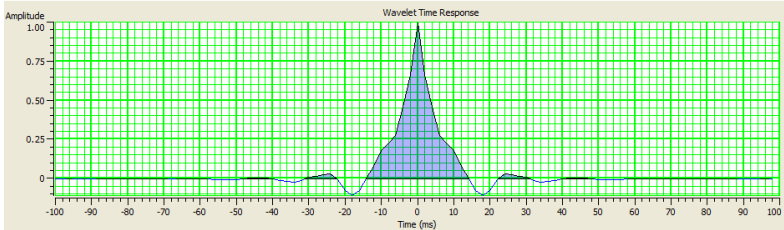
Gambar 3.22 Penampang seismik reflektivitas EEI 50° (*No smoothed*).



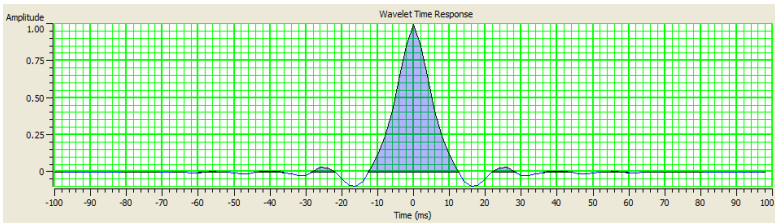
Gambar 3.23 Penampang seismik reflektivitas EEI 50° (*Smoothed*).

### 3.5.8 Ekstraksi Wavelet

Dilakukan ekstraksi *wavelet* dengan metode *statistical* dari penampang seismik reflektivitas EEI 50° untuk pembuatan model awal dan proses inversi. Ekstraksi *wavelet* dilakukan pada penampang seismik yang sudah di *smoothing* dan yang tidak di *smoothing*. Hasil *wavelet* dari penampang yang sudah di *smoothing* lebih baik (tidak *jagged*) dibandingkan dengan penampang seismik yang belum di *smoothing*, sehingga pada proses-proses kedepannya digunakan *wavelet* dari penampang seismik yang sudah di *smoothing*.



Gambar 3.24 Ekstraksi *wavelet* dari penampang yang tidak di *smoothing*.



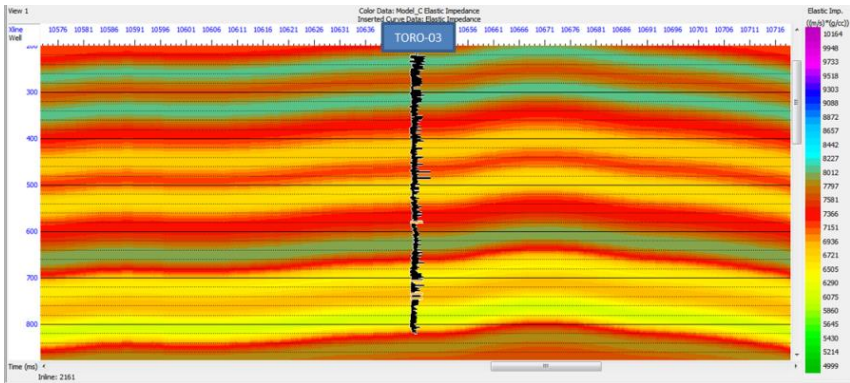
Gambar 3.25 Ekstraksi *wavelet* dari penampang yang sudah di *smoothing*.

### 3.5.9 Model Awal EEI 50°

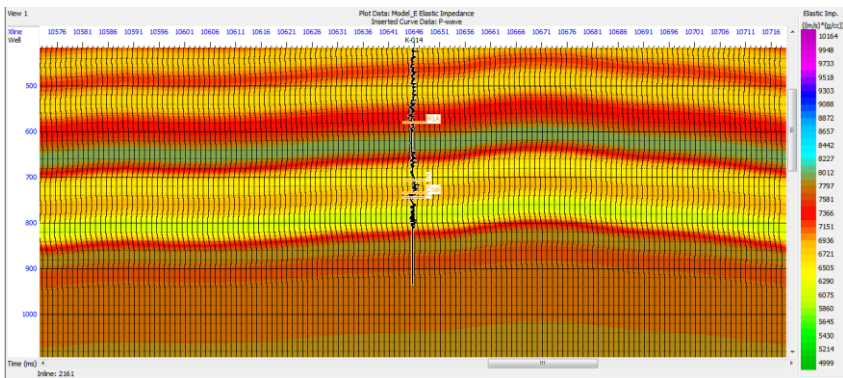
Model awal adalah model awal yang memberi gambaran atau tebakan lapisan batuan yang berada dibawah permukaan bumi. Model awal yang dibuat merupakan *low frequency model* dengan *frequency filtering high pass frequency* 5Hz dan *high cut frequency* 20Hz. Nilai ini adalah nilai kira-kira yang didasarkan oleh spektrum amplitudo seismik (Gambar 4.10a). Dibuat model dengan *low frequency* untuk menutupi frekuensi rendah yang hilang pada proses pengolahan seismik atau frekuensi rendah yang tidak teridentifikasi oleh seismik agar didapatkan model lapisan batuan bawah permukaan yang mirip dengan keadaan geologis sebenarnya. Model awal ini dibuat dari nilai impedansi elastik batuan, gelombang P, gelombang S, dan densitas batuan yang diinterpolasikan pada



lapisan penelitian, yaitu lapisan C dan lapisan E. Model awal ini berfungsi dalam inversi EEI karena metode inversi yang digunakan adalah *model based*.



Gambar 3.26 Model awal lapisan C.



Gambar 3.27 Model awal lapisan E.

### 3.5.10 Analisis Inversi

Kualitas hasil akhir inversi sangat bergantung pada tahap analisis inversi. Terdapat beberapa parameter yang harus diatur dan data yang diinput. Inversi yang digunakan adalah inversi *model based*, dimana inversi *model based* adalah membandingkan *trace* seismik dari model awal dengan *trace* seismik asli, data error yang didapatkan kemudian menjadi data input yang memperbarui model awal, hal ini terus dilakukan hingga didapatkan error paling kecil dan memiliki nilai korelasi maksimum antara *trace* seismik asli dengan hasil inversi nanti. Yang perlu diperhatikan selain nilai error dan nilai korelasi, adalah

*inversion window*, *scalar*, dan *constraint*. *Inversion window* adalah rentang waktu yang akan dilakukan inversi, harus dipastikan bahwa lapisan target masuk kedalam *time window* inversi. *Scalar* adalah besar skala atau lebar data log inversi, *scalar* harus diatur sedemikian rupa agar log inversi sudah mengenai data log impedansi elastik dan model awal, pada penelitian ini digunakan *scalar* 1.5 sampai 2. *Constraint* terbagi menjadi dua, yaitu *hard constraint* dan *soft constraint*. *Constraint* sendiri adalah parameter yang mengatur banyaknya porsi atau dominasi model awal terhadap data seismik. Pada inversi ini, digunakan *hard constraint* dengan *upper value*=20 dan *lower value*=20, yang berarti proses inversi nanti hanya boleh berubah sejauh 20 dari model awal. Dari parameter input diatas, didapatkan nilai korelasi antara *trace seismic* hasil inversi dan *trace seismic* asli pada tabel 3.5:

**Tabel 3.5** Nilai korelasi inversi pada lapisan C dan E.

Sumur	Nilai korelasi	
	Lapisan C	Lapisan E
TORO-01	0.989	Blind Well
TORO-02	0.990	0.971
TORO-03	0.998	0.903

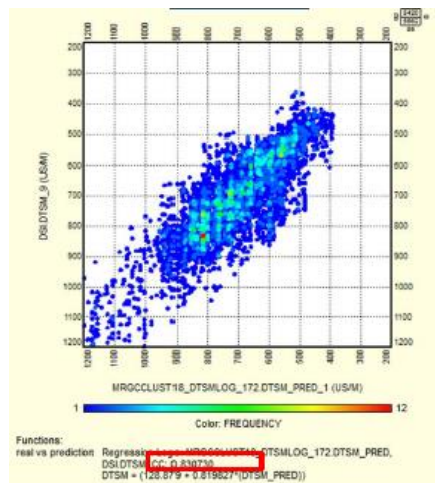
***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Analisis Prediksi Gelombang S

Prediksi gelombang S dilakukan karena tidak adanya gelombang S asli hasil pengukuran pada ketiga sumur target yaitu TORO-01, TORO-02, dan TORO-3. Prediksi gelombang S yang dilakukan menggunakan metode *Artificial Neural Network*. Untuk mengetahui keakurasian metode tersebut, dilakukan prediksi gelombang S pada sumur dari lapangan “MARS” yang berjarak hanya 4km dari lapangan “TORO” karena lapangan “MARS” memiliki gelombang S asli. Adapun sumur yang digunakan adalah MARS-01 dan MARS-02. Gelombang S hasil prediksi kemudian dibandingkan atau dikorelasikan dengan gelombang S asli hasil pengukuran.

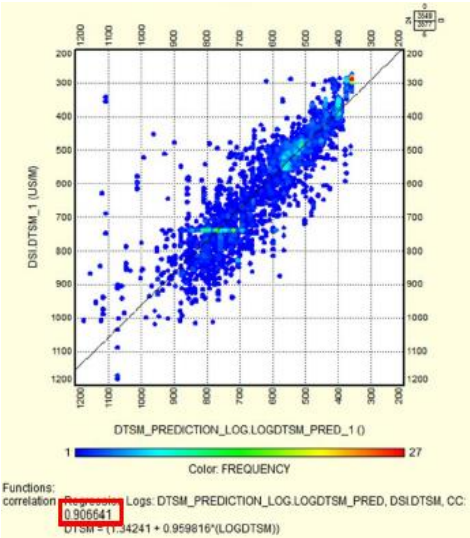


Gambar 4.1 *Crossplot* gelombang S prediksi (sumbu x) dengan gelombang S asli (sumbu y) pada sumur MARS-01.

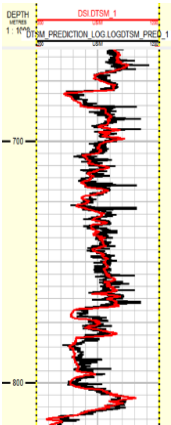
Hasil prediksi gelombang S pada sumur MARS-01 ketika dibandingkan dengan gelombang S asli memiliki nilai korelasi 0,830 (Gambar 4.1) yang berarti memiliki kesamaan sebesar 83% dan error sebesar 17%. Hasil prediksi gelombang S pada sumur MARS-02 ketika dibandingkan dengan gelombang S asli memiliki nilai korelasi 0,907 (Gambar 4.2) yang berarti memiliki kesamaan sebesar 90% dan error sebesar 10%. Error yang dihasilkan dapat disebabkan oleh kurangnya pengkondisian log dan *human error*. Karena hasil prediksi gelombang S pada sumur MARS-02 lebih baik, maka metode *Artificial Neural Network* atau



sistem penjalaran pembuatan gelombang S prediksi yang digunakan pada sumur MARS-02 akan digunakan dalam prediksi gelombang S pada sumur-sumur target, yaitu TORO-01, TORO-02, dan TORO-03.

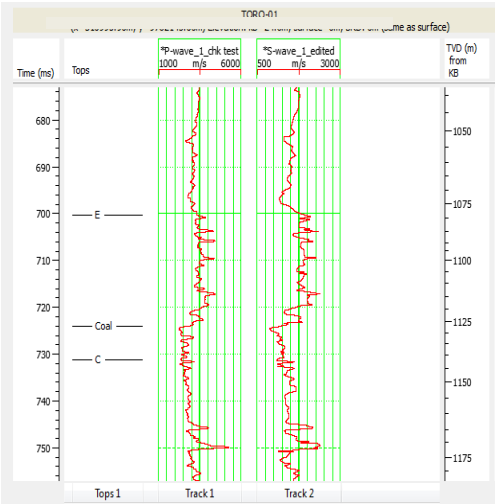


Gambar 4.2 Crossplot gelombang S prediksi (sumbu x) dengan gelombang S asli (sumbu y) pada sumur MARS-02.



Gambar 4.3 Log gelombang S asli (merah) dengan log gelombang S prediksi (hitam) pada sumur MARS-02.

Hasil gelombang S prediksi pada sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03 divalidasi dengan membandingkannya dengan gelombang P. Respon gelombang P dan S seharusnya menunjukkan pola yang sama, namun gelombang P akan memiliki kecepatan lebih besar dikarenakan sifat penjarangannya yang kompresional atau langsung.



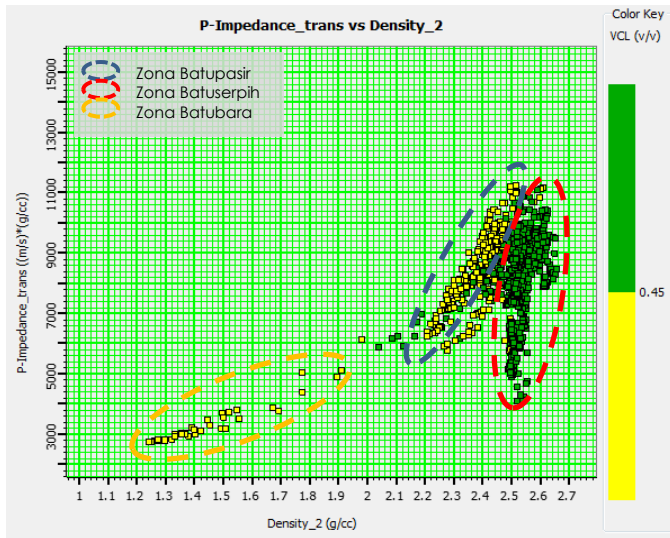
Gambar 4.4 Gelombang S prediksi dan gelombang P pada sumur TORO-01.

#### 4.2 Hasil Analisis Sensitivitas Reservoir Batupasir Lapangan “TORO”

Dilakukan analisis sensitivitas pada reservoir batupasir lapangan “TORO” untuk mengetahui parameter terekam apa yang sensitif sehingga mampu dilakukan pengolahan lebih lanjut seperti inversi untuk interpretasi bawah permukaan lapangan “TORO”. Berdasarkan informasi geologi regional dan hasil *logging*, batupasir yang bertindak sebagai reservoir di lapangan “TORO” berada pada Formasi Tanjung di lapisan C dan lapisan E sehingga tahap analisis sensitivitas hanya dilakukan pada lapisan C dan lapisan E saja.

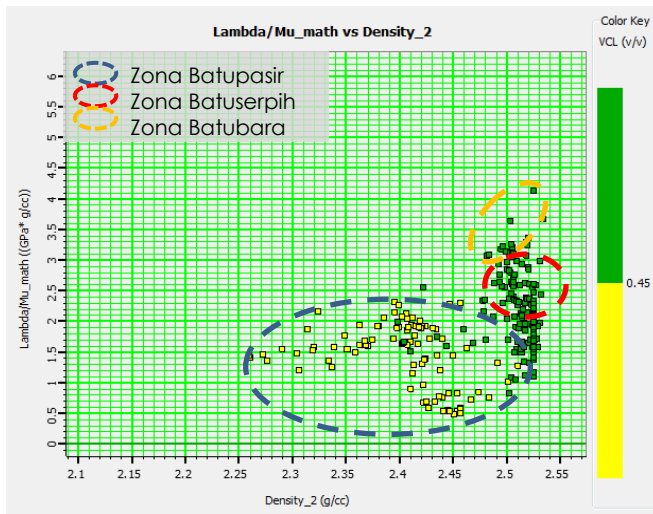
Analisis sensitivitas pertama yang dilakukan adalah analisis impedansi akustik reservoir batupasir lapangan “TORO”. Analisis sensitivitas impedansi akustik reservoir batupasir lapangan “TORO” dilakukan dengan cara membuat *crossplot* impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x). Hasil *crossplot* impedansi akustik dengan densitas menunjukkan impedansi akustik reservoir batupasir pada lapangan “TORO” tidak sensitif atau tidak mampu membedakan litologi batupasir dengan batuserpih, ditunjukkan dengan nilai impedansi akustik kedua batuan tersebut berada pada rentang yang hampir sama.

Impedansi akustik batupasir berada pada rentang 5700-11200 (m/s)\*(g/cc) dan batuserpih pada rentang 5000-11000 (m/s)\*(g/cc). Dapat ditarik informasi bahwa impedansi akustik pada reservoir batupasir lapangan “TORO” tidak sensitif dan karena itu proses inversi berbasis impedansi akustik tidak dapat dilakukan pada reservoir batupasir lapangan “TORO”, sehingga dibutuhkan parameter fisis impedansi lain yang sensitif sebagai basis baru untuk proses inversi, yaitu impedansi elastik.

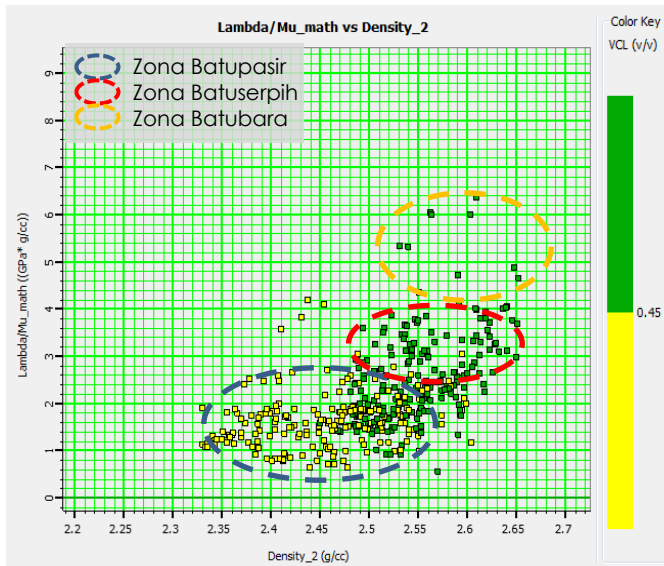


Gambar 4.5 *Crossplot* impedansi akustik (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) pada zona reservoir lapangan TORO.

Parameter fisis batuan dari impedansi elastik adalah Lambda atau inkompresibilitas dan Mu atau rigiditas, adapun pencarian parameter fisis impedansi elastik yang sensitif dilakukan dengan *crossplot* log hasil transformasi (log *P-Impedance*, log *S-Impedance*, log  $V_p/V_s$ , log Lambda-Rho, log Mu-Rho, dan log Lambda/Mu) pada sumbu y dengan densitas pada sumbu x. Hasil *crossplot* parameter impedansi elastik yang mampu memisahkan batupasir dengan batuserpih adalah parameter fisis Lambda/Mu. Nilai Lambda/Mu pada lapisan C adalah batupasir berada pada rentang 0.5-2.4 GPa\*(g/cc) dan batuserpih pada rentang 2-3 GPa\*(g/cc), sedangkan pada lapisan E adalah batupasir berada pada rentang 0.6-2.6 GPa\*(g/cc) dan batuserpih pada rentang 2.4-4 GPa\*(g/cc).



Gambar 4.6 *Crossplot* Lambda/Mu (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) pada lapisan C.

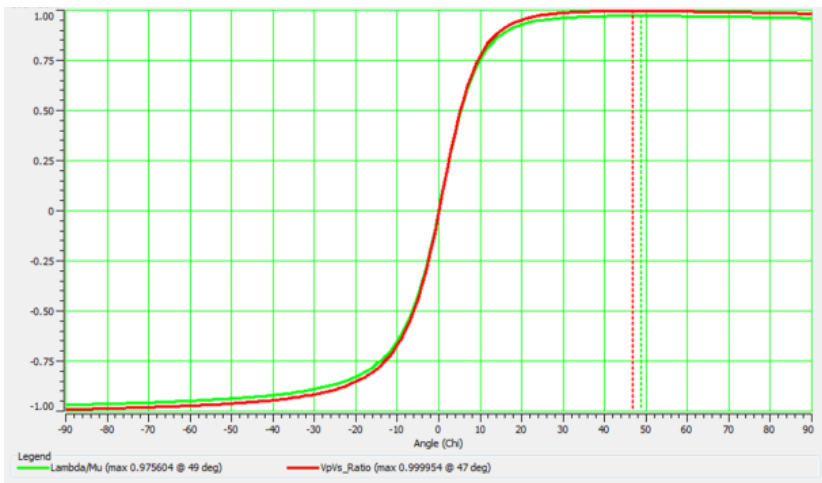


Gambar 4.7 *Crossplot* Lambda/Mu (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) pada lapisan E.

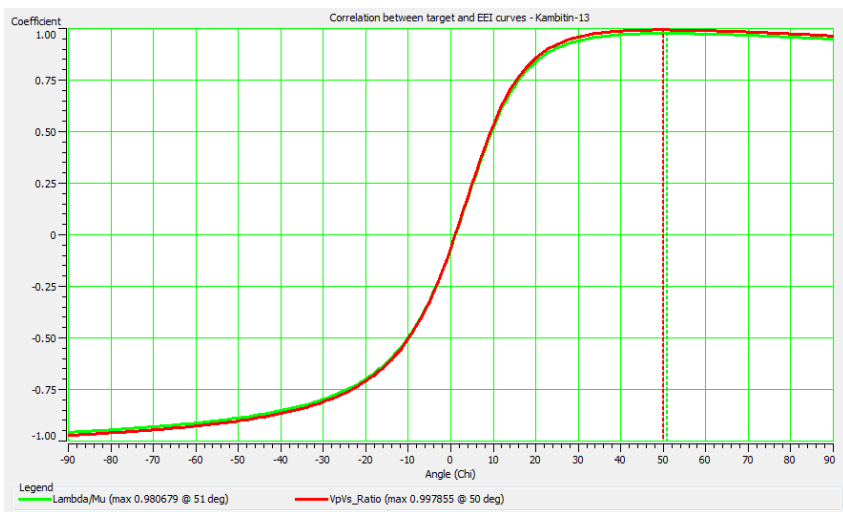
### 4.3 Hasil Log EEI 50

Hasil parameter fisis yang sensitif yaitu Lambda/Mu harus dilakukan pendekatan dengan *Extended Elastic Impedance (EEI)* dengan sudut tertentu karena dalam pembuatan penampang seismik berbasis impedansi elastik membutuhkan sudut. Sudut tersebut didapatkan dari besar sudut log EEI yang memiliki respon paling mirip dengan log Lambda/Mu. Pencarian sudut dilakukan dengan proses *cross correlation* antara log Lambda/Mu dan log EEI dengan rentang sudut  $-90^\circ$  sampai  $90^\circ$ .

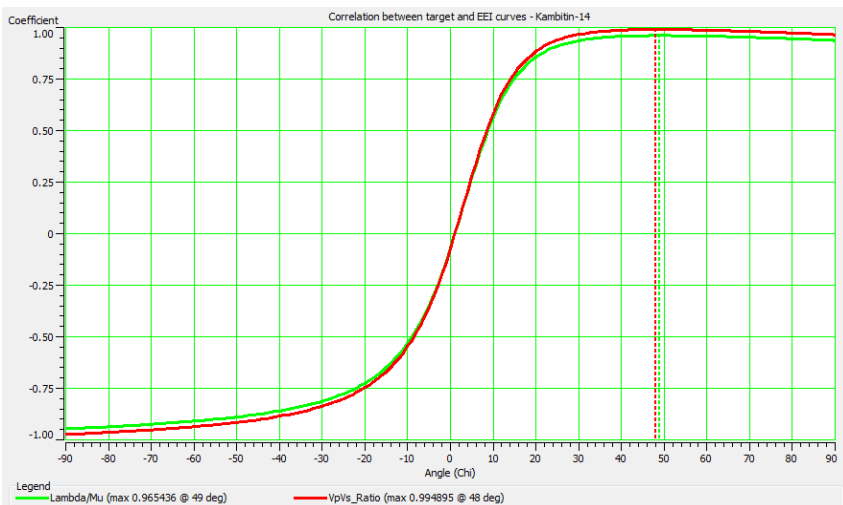
Hasil *cross correlation* log Lambda/Mu dengan log EEI pada sumur TORO-01 (Gambar 4.7), Log EEI pada sudut  $49^\circ$  memiliki kemiripan respon paling besar dengan log Lambda/Mu dengan nilai korelasi sebesar 0,975604. Pada sumur TORO-02 (Gambar 4.8), pada sudut  $51^\circ$  dengan nilai korelasi 0,980679. Pada sumur TORO-03 (Gambar 4.9) pada sudut  $49^\circ$  dengan nilai korelasi 0,965436. Sudut optimum yang dihasilkan pada 3 sumur tersebut kemudian diambil nilai tengah yaitu  $50^\circ$  dengan nilai korelasi 0,9739 sebagai sudut optimum dari log EEI.



Gambar 4.8 *Cross Correlation* sumur TORO-01, dengan nilai korelasi 0.975604 di  $49^\circ$ .

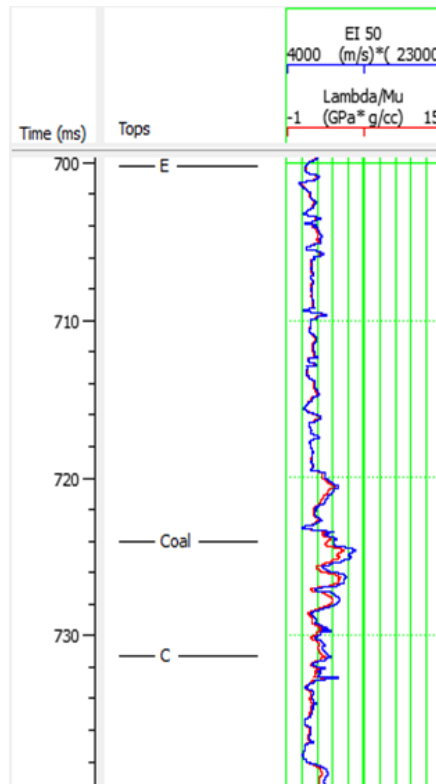


Gambar 4.9 *Cross Correlation* sumur TORO-02, dengan nilai korelasi 0.980679 di 51°.



Gambar 4.10 *Cross Correlation* sumur TORO-03, dengan nilai korelasi 0.965436 di 49°.

Setelah didapatkan  $50^\circ$  sebagai sudut optimum dari log EEI, maka log EEI  $50^\circ$  dapat dibuat. Hasil log EEI  $50^\circ$  setelah dibandingkan dengan log Lambda/Mu terbukti memiliki respon yang mirip, hal ini membuktikan bahwa metode *Extended Elastic Impedance* dengan kelebihan jangkauan sudut nya ( $-90^\circ$  sampai  $90^\circ$ ) mampu digunakan sebagai alat pendekatan dari sebuah parameter fisis elastik.

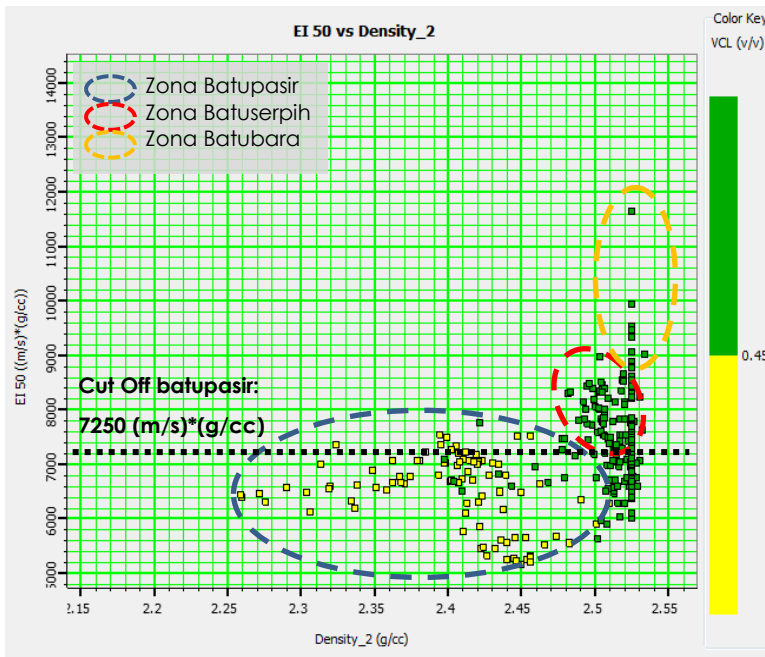


Gambar 4.11 Log EEI  $50^\circ$  (biru) dan Log Lambda/Mu (merah) pada sumur TORO-01.

#### 4.4 Hasil Analisis Sensitivitas Log EEI $50^\circ$

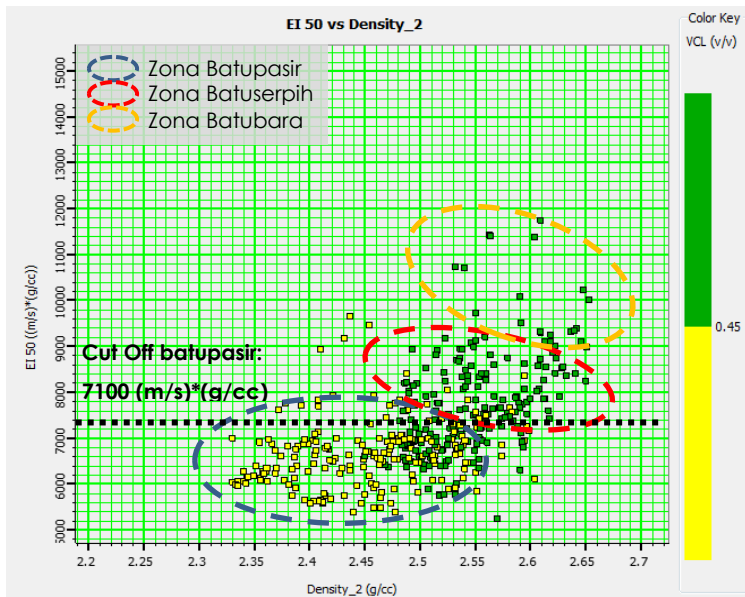
Dilakukan analisis sensitivitas Log EEI  $50^\circ$  untuk memastikan bahwa Log EEI  $50^\circ$  mampu memisahkan litologi batupasir dan batuserpih pada reservoir batupasir lapangan “TORO” dan untuk mendapatkan nilai *cutoff* batupasir. Analisis sensitivitas impedansi elastik EEI  $50^\circ$  reservoir batupasir lapangan “TORO” dilakukan dengan cara membuat *crossplot* impedansi elastik EEI  $50^\circ$

(sumbu y) dengan densitas (sumbu x). Hasil *crossplot* impedansi elastik EEI 50° dengan densitas menunjukkan impedansi elastik EEI 50° reservoir batupasir pada lapangan “TORO” adalah sensitif atau mampu membedakan litologi batupasir dengan batuserpih, ditunjukkan dengan nilai impedansi elastik kedua batuan tersebut berada pada rentang yang berbeda. Impedansi elastik batupasir berada pada lapisan C berada pada rentang 5500-7250 (g/cc)(m/s) sehingga dilakukan *cutoff* pada nilai 7250(g/cc)(m/s) dan lapisan E pada rentang 5500-7100 (g/cc)(m/s) sehingga dilakukan *cutoff* pada nilai 7100(g/cc)(m/s). Dapat ditarik informasi bahwa impedansi elastik pada reservoir batupasir lapangan “TORO” sensitif dan karena itu proses inversi berbasis impedansi elastik dapat dilakukan pada reservoir batupasir lapangan “TORO”.



Gambar 4.12 *Crossplot* Log EEI50 (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) pada lapisan C.





Gambar 4.13 Crossplot Log EEI50 (sumbu y) dengan densitas (sumbu x) pada lapisan E.

#### 4.5 Hasil Analisis Pre-Inversi EEI dan Model Akhir

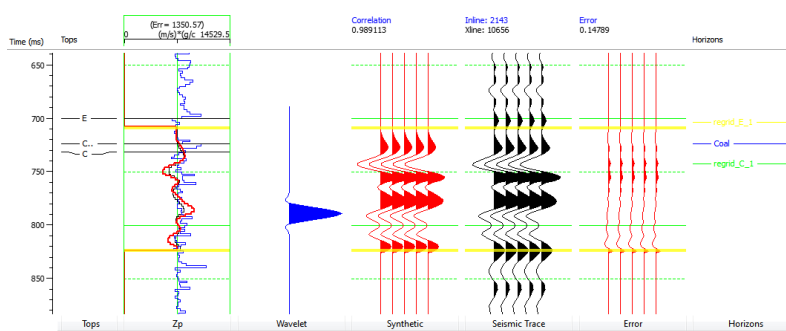
Inversi *model based* adalah metode inversi yang digunakan dalam tugas akhir ini. Inversi model based sendiri adalah proses yang membandingkan *trace* seismik yang didapatkan dari model awal dengan *trace* seismik asli hasil pengukuran di lapangan "TORO". Proses perbandingan dua *trace* seismik tersebut akan menghasilkan error, nilai error tersebut kemudian menjadi inputan baru model awal. *Trace* seismik dari model awal yang telah diperbaharui tersebut kemudian dibandingkan kembali dengan *trace* seismik asli, hal ini dilakukan terus-menerus hingga didapatkan nilai error paling kecil dan nilai korelasi maksimum antara kedua *trace* seismik tersebut.

Terdapat beberapa parameter lain yang harus diperhatikan selain nilai error dan nilai korelasi antara *trace* seismik model awal dan *trace* seismik asli pengukuran, parameter lain tersebut adalah *inversion window*, *scalar*, dan *constraint*. Penjelasan masing-masing parameter sudah dijelaskan pada subab 3.5.10 Pada proses inversi tugas akhir ini, untuk lapisan C dilakukan pada sumur TORO-01, TORO-02, dan TORO-03. Sedangkan untuk lapisan E hanya pada sumur TORO-02 dan TORO-03, sumur TORO-01 dijadikan sumur *blind test* untuk mengetahui keakurasian dari hasil inversi EEI ini. Berikut adalah nilai

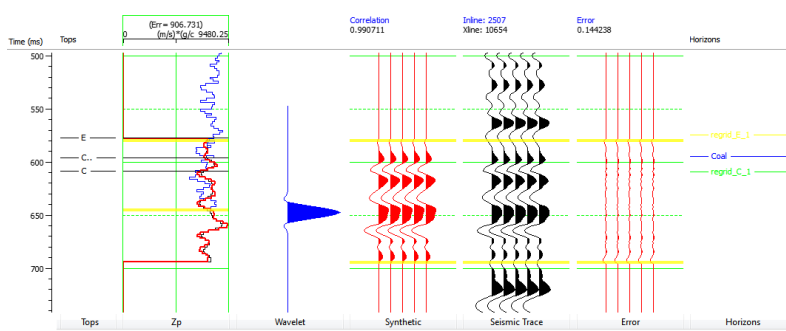
parameter yang digunakan dan hasil korelasi trace seismik model awal dan trace seismik pengukuran asli (Nilai besar scalar yang digunakan adalah 1.5 – 2, nilai soft constraint adalah 0.4, dan nilai hard constraint adalah 20):

**Tabel 4.1** Parameter inversi dan hasil nilai korelasi yang didapat

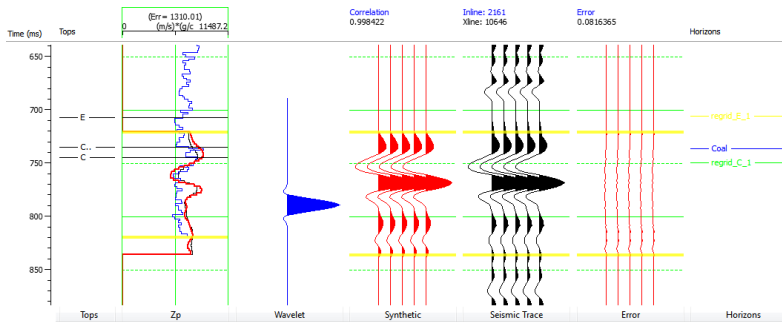
Sumur	Lapisan	<i>Inversion Window</i>	<i>Constraint</i>	Nilai korelasi	Error
TORO-01	C	710-820 (ms)	<i>Hard</i>	0.989	0.148
	E	<i>BLIND WELL TEST</i>			
TORO-02	C	580-640 (ms)	<i>Hard</i>	0.991	0.144
	E	540-620 (ms)	<i>Soft</i>	0.971	0.249
TORO-03	C	720-820 (ms)	<i>Hard</i>	0.998	0.082
	E	710-720 (ms)	<i>Soft</i>	0.903	0.477



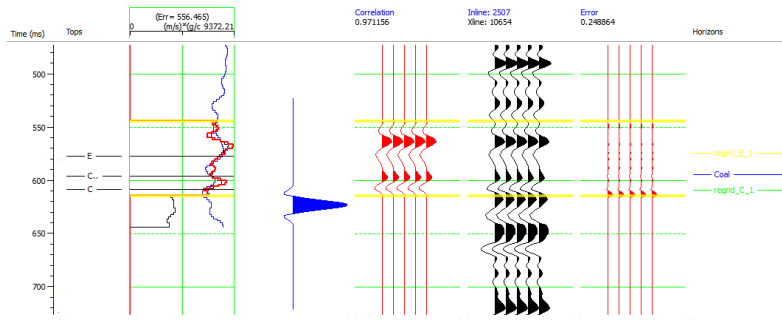
Gambar 4.14 *Inversion analysis window* lapisan C Sumur TORO-01.



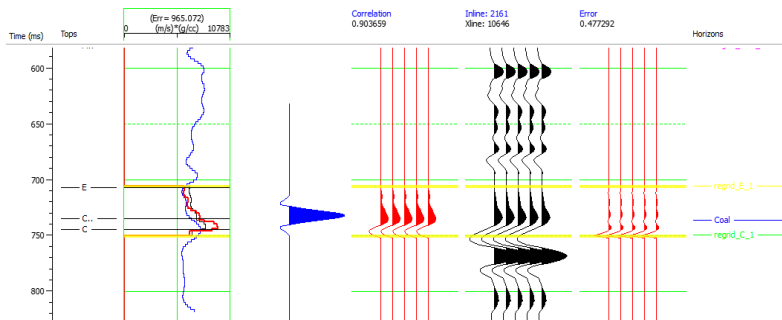
Gambar 4.15 *Inversion analysis window* lapisan C Sumur TORO-02.



Gambar 4.16 *Inversion analysis window* lapisan C Sumur TORO-03.

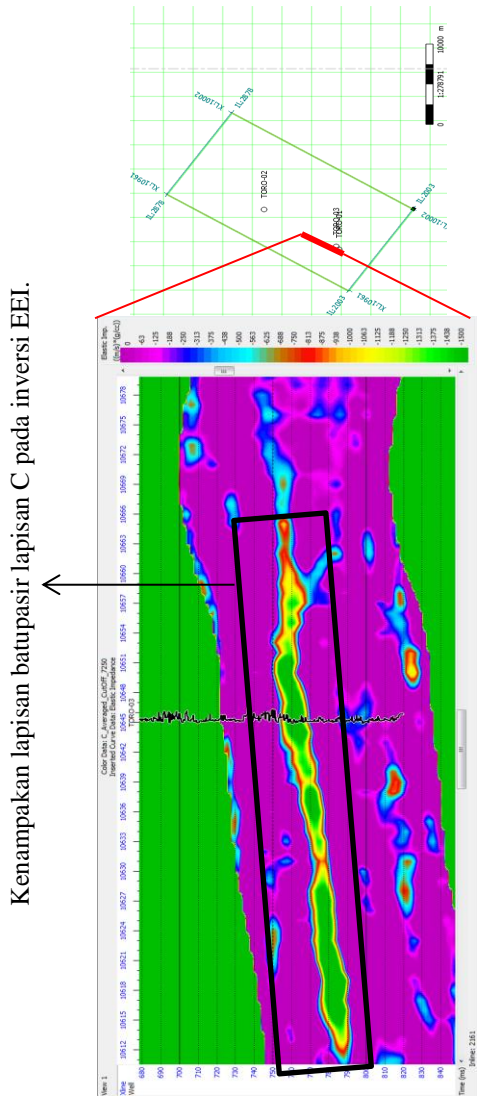


Gambar 4.17 *Inversion analysis window* lapisan E Sumur TORO-02.



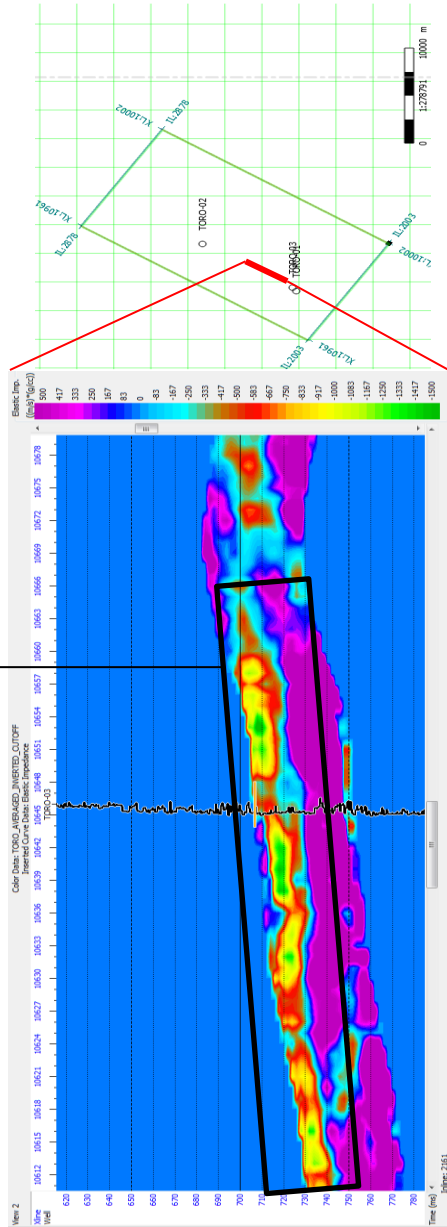
Gambar 4.18 *Inversion analysis window* lapisan E Sumur TORO-03.

Berikut adalah model akhir yang didapatkan dengan parameter inversi pada tabel 4.1 yang sudah di *cutoff* dengan nilai impedansi elastik batupasir, sehingga hanya batupasir saja yang ditampilkan atau disebaran (subab 4.4).



Gambar 4.19 Model akhir inversi EEI lapisan C pada *inline* 2061.

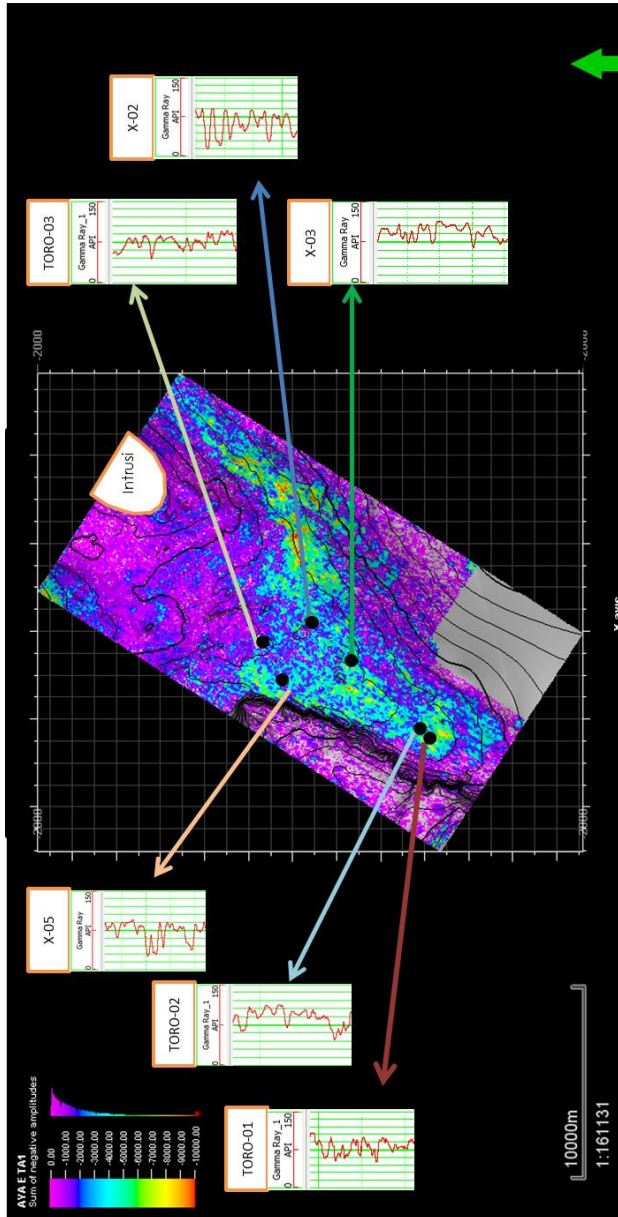
Kenampakan lapisan batupasir lapisan E pada inversi EEI.



Gambar 4.20 Model akhir inversi EEI lapisan E pada *inline* 2061.

Hasil inversi EEI (gambar 4.19 dan 4.20) menunjukkan kenampakan lapisan batupasir pada kedua lapisan, C dan E. Kenampakan batupasir pada hasil inversi EEI divalidasi dengan log *gamma ray*. Terlihat bahwa adanya batupasir pada hasil inversi EEI dan pada log *gamma ray*. Terdapat beberapa batupasir yang tertampak pada log *gamma ray* namun tidak tertampak pada hasil inversi, batupasir yang tidak tampak tersebut disebabkan oleh hasil cutoff yang sebelumnya sudah dilakukan. Batupasir yang tidak tampak tersebut saya asumsikan sebagai batupasir yang disisipi oleh batuserpih. Akibat terdapat sisipan batuserpih, batupasir tersebut tidak mendukung untuk menjadi reservoir batupasir. Hasil inversi kemudia dibuat peta irisannya untuk menampilkan persebaran atau distribusi batupasir. Terdapat berbagai cara untuk memvalidasikan hasil inversi EEI, salah satunya yang dilakukan adalah dengan *quality control* menggunakan log *gamma ray*. Endapan pasir yang nampak pada peta irisan hasil inversi EEI dibandingkan dengan log *gamma ray* yang terdapat pada sumur-sumur yang terdapat pada daerah penelitian. Hasil *quality control* log *gamma ray* tersebut menunjukkan lokasi yang terdapat endapan pasir juga menunjukkan adanya endapan pasir pada log *gamma ray*. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa metode inversi EEI ini mampu menampilkan litologi batuan dengan baik dan benar. Hasil peta irisan model akhir reservoir batupasir lapangan “TORO” menunjukkan bahwa reservoir batupasir tersebar dari Selatan ke Utara lapangan dengan lebar  $\pm 1.6$  km dan panjang  $\pm 7$  km.





Gambar 4.22 Peta irisan model akhir EEI 50° Lapisan E.

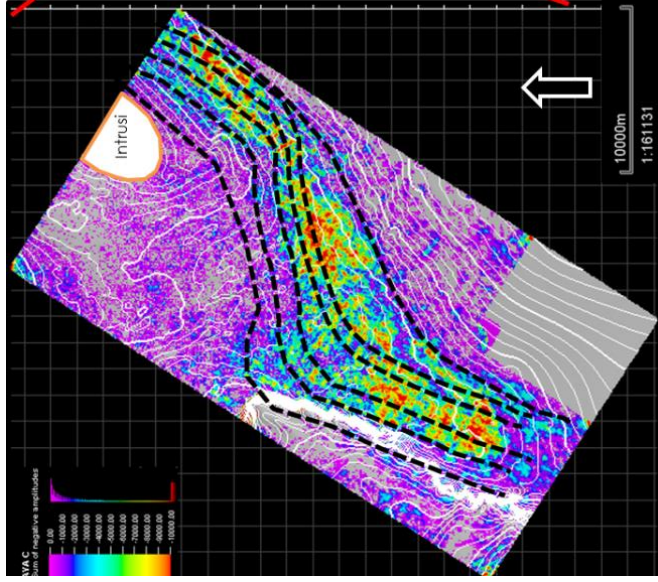


## 4.6 Hasil Analisis Persebaran Batupasir dan Lingkungan Pengendapannya

Setelah didapatkan hasil inversi atau model akhir (gambar 4.19 dan 4.20) pola distribusi batupasir yang bertindak sebagai reservoir pada lapangan TORO dapat dibuat. Pola distribusi batupasir yang dihasilkan merupakan peta irisan model akhir yang sudah di *cutoff* dengan nilai impedansi elastik batupasir reservoir lapangan TORO agar batuserpih dan batubara tidak terikut disebarkan. Hasil pola persebaran yang telah diinterpretasi kemudian divalidasi dengan literatur geologi regional cekungan barito (subab 2.12-2.13) oleh Witts pada tahun 2012 yang menyatakan lapisan C adalah pengendapan fluvial dan E adalah estuari dengan supply sedimen berupa tinggian Meratus dan Karimun Jawa yang berada pada selatan cekungan.

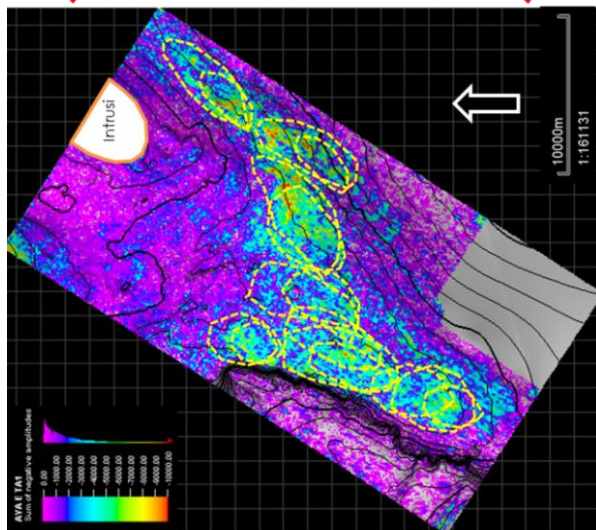
Rentang impedansi elastik lapisan C berada pada 5500-7250 (g/cc)(m/s) dan pola batupasir nya menerus dan berkelok, menunjukkan pola *fluvial point bar*. Maka, dapat diinterpretasikan bahwa lingkungan pengendapan lapisan C adalah *fluvial meandering*. Dari peta irisan lapisan C (Gambar 4.23), terlihat pointbar pengendapan batupasir yang menunjukan pola lingkungan pengendapan *fluvial meandering* dengan beberapa channel. Endapan batupasir yang terlihat lebar dapat diasumsikan bahwa terdapat pergerakan badan sungai kebeberapa tempat dalam kurun waktu yang berbeda. Batupasir ini diendapkan dengan arah Selatan ke Utara karena pada masa *Eocene*, pada bagian selatan cekungan barito terdapat dua tinggian, yaitu tinggian Meratus dan Karimun Jawa yang menjadi *supply* proses pengendapan dan sedimentasi.

Rentang impedansi elastik lapisan E berada pada 5500-7100 (g/cc)(m/s) dan pola batupasir nya tidak menerus dan berkelompok, menunjukkan pola *estuary point bar* yang searah dengan arah pengendapan (Gambar 4.24). Log Gamma Ray nya membentuk pola *funnel*. Semakin mendekati permukaan, ukuran bulir atau matriks batupasir yang terendapkan akan semakin besar dan kasar. Hal tersebut dapat terjadi apabila batupasir tersebut terendapkan di daerah delta front (sedimented rock bar) pada lingkungan pengendapan delta yang didominasi oleh pasang surut air laut (*tide dominated*). Maka, dapat diinterpretasikan bahwa lingkungan pengendapan lapisan E adalah estuary *tide-dominated*. Estuari adalah sisi transisi dari sungai ke laut yang didominasi oleh pasang dan surutnya air laut, terlihat dari endapan batupasir yang tegak lurus dengan arus air. Sama halnya dengan lapisan C, endapan pointbar yang terlihat besar (1 km) ini diasumsikan bahwa terdapat pergerakan badan sungai kebeberapa tempat dalam kurun waktu yang berbeda, yaitu *upper Paleocene* hingga awal *middle Eocene*. Batupasir ini juga diendapkan dengan arah Selatan ke Utara karena masih terendapkan pada masa *Eocene*. Yang membuat lingkungan pengendapannya berubah menjadi estuari adalah transgresi atau naiknya permukaan air laut yang menyebabkan mundurnya mulut sungai atau zona transisi antara sungai dan laut.



Ilustrasi: Harun, 2017

Gambar 4.23 Hasil interpretasi lingkungan pengendapan lapisan C.



Ilustrasi: Harun, 2017

Gambar 4.24 Hasil interpretasi lingkungan pengendapan lapisan E.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Lambda/Mu merupakan parameter impedansi elastik yang mampu memisahkan litologi batupasir dan batuserpih pada reservoir batupasir lapangan “TORO”. Pada lapisan C rentang batupasir pada 0.5-2.25 (gPa\*g/cc) dan lapisan E rentang batupasir pada 0.5-2 (gPa\*g/cc). Nilai impedansi elastik batupasir lapisan C berada pada rentang 5500-7250 (g/cc)(m/s) dan pada lapisan E pada rentang 5500-7100 (g/cc)(m/s).
2. Reservoir batupasir lapangan “TORO” tersebar dari Selatan ke Utara lapangan dengan lebar  $\pm 1.6$  km dan panjang  $\pm 7$  km. Pola persebaran pada lapisan C adalah *fluvial channel* yang mencirikan lingkungan pengendapan *fluvial meandering* dan lapisan E adalah pola *estuary bar* yang mencirikan lingkungan pengendapan *estuary tide-dominated*.

#### **5.2 Saran**

1. Dilakukan prediksi gelombang S dengan metode *Xu-White* dan *Greenberg Castagna* untuk mendapatkan beberapa opsi gelombang S untuk mendapatkan gelombang S prediksi dengan hasil paling mirip dengan keadaan asli lapangan.
2. Dibutuhkan analisa sebaran fluida agar hasil yang didapatkan tidak hanya sebaran batupasir saja, melainkan batupasir yang tersaturasi fluida.

***HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN***

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. 2011. *Modul Ensiklopedi Seismik*. Unknown.
- Anstey, N.A. 1977. *Seismic Interpretation: The Physical Aspects*. IHRDC
- Connolly, P. A. 1999. *Elastic Impedance*. The Leading Edge.
- De Oliveira, Rodrigo M. S., Ramon C. F., Araújo, Fabrício J. B. Barros, Adriano Paranhos Segundo, Ronaldo F. Zampolo, Wellington Fonseca, Victor Dmitriev. 2017. *A System Based on Artificial Neural Networks for Automatic Classification of Hydro-generator Stator Windings Partial Discharges*, Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 16, No. 3.
- Goodway, B. 2001. *AVO and Lamé Constants For Rock Parameterization and Fluid Detection*. CSEG Recordery: Colorado, USA.
- Hampson-Russell Software Service, Ltd. 2006. *AVO Workshop: Theory and Exercises*. Unknown.
- Harun, M. R., Ardhiansyah, B. N., Putra, R. T. 2017. *Warukin Deep - The Hidden Potential of Warukin Field, South Borneo: Untouch Reserves in Mature Field*. American Association of Petroleum Geologists.
- Haykin, S. 2004. *Neural Networks - A comprehensive foundation*. 2nd ed. Prentice Hall
- Hernowo, D., Tabah, F. R. 2010. *Inversi Model Based untuk Gambaran Litologi Bawah Permukaan*. Jurnal Sains Dan Matematika Universitas Diponegoro: Semarang.
- Satjana, A. H. & Silitonga, P. 1994. *Tectonic Reversal in East Barito basin, South Kalimantan; Consideration of the type of inversion structures and petroleum system significance*. IPA Convex, Volume 1, pp. 57-74.
- Schroeder, F. 2006. *Introduction of Seismic*. American Association of Petroleum Geologists.
- Sukmono, S. 2000. *Seismik Inversi untuk Karakterisasi Reservoir*. ITB: Bandung, Indonesia.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sherif, R. E. 2004. *Applied Geophysics*. Cambridge: Cambridge, UK.
- Utama, W., Syaifuddin, F., Dezulfakar, H. 2017. *Inversi Bersama Gelombang PP dan PS (Joint PP And PS Inversion) Untuk Menganalisa Litologi Reservoir* Geosaintek Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

- Whitcombe, D., Connolly, P. A., Reagan, R.L., dan Redshaw, T.C. 2002. *Extended Elastic Impedance for Fluid Detection and Lithology Prediction*. SEG-Geophysics, Volume. 67, No. 1.
- Wiggins, R., Kenny, G.S., dan McClure, C.D. 1983. *A Method for Determining and Displaying the Shear Velocity Reflectivities of a Geologic Formation*. Paten Eropa 0113944.
- Witts, D., Hall, R., Nichols, G. & Morley, R. 2011. *A New Depositional and provenance model for the Tanjung Formation, Barito Basin, SE Kalimantan, Indonesia*. *Journal of Asian Earth Science*, Volume 56, pp. 77-104.

## PROFIL PENULIS



Penulis lahir pada 3 Januari 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Bapak Branjangan Tirta Yuda dan Ibu Diana Anggraini Mannawi. Menempuh pendidikan di SD Bhakti Jakarta (2002-2008), SMP Negeri 89 Jakarta (2008-2011), SMA Negeri 78 Jakarta (2011-2014), dan kuliah di Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2014-Sekarang). Selama menjadi mahasiswi di ITS, penulis pernah aktif dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS menjadi staff Seni dan Olahraga Departemen Dalam Negeri 2015-2016. Tidak hanya himpunan, penulis juga aktif dalam organisasi *Society of Petroleum Engineers* Institut Teknologi Sepuluh Nopember *Student Chapter* (SPE ITS SC). Pada tahun kedua diamanahi menjadi staff *Internal Event Departemen Event* SPE ITS SC 2015-2016, tahun ketiga diamanahi menjadi *Head of Public Relation Departemen Public Relation and Communication* SPE ITS SC 2016-2017, dan tahun keempat diamanahi menjadi *General Secretary* SPE ITS SC 2017-2018. Selain kegiatan organisasi, penulis mendapatkan dua kali kesempatan menjadi delegates dalam konferensi *Asia Pacific SPE SC Conference* (APSC) pada 2015 di Universiti Teknologi Mara di Shah Alam-Malaysia dan pada 2017 di Universiti Teknologi Malaysia di Kuala Lumpur-Malaysia. Dalam konferensi APSC 2015 penulis berhasil menang *bidding* dalam perebutan *host* APSC berikutnya atau membawa acara APSC untuk pertama kalinya ke Indonesia. Penulis pernah melaksanakan kegiatan Kerja Praktek di PT. Pertamina EP Pusat Jakarta dengan judul “Interpretasi Seismik pada Lapisan Pliocene Sandstone di Formasi Kintom, Area Sulawesi Tengah” dan melaksanakan kegiatan Tugas Akhir di PT. Pertamina EP Asset 5 Balikpapan, jika ingin berdiskusi mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi saya di email: [ayatiarautami@gmail.com](mailto:ayatiarautami@gmail.com) .